





01	Febbraio 2014	AGGIORNAMENTO DEL PROGETTO IN CONFORMITA' AL VOTO N°24 DEL SIIT PROJECT UPDATING IN COMPLIANCE WITH THE VOTE N°24 OF SIIT	S.J.S. Engineering s.r.l.
00	31 Gennaio 2013	PRIMA EMISSIONE / FIRST ISSUE	S.J.S. Engineering s.r.l.
REVISIONE REVISION	DATA DATE	MOTIVAZIONE REASON	PROPONENTE PROPOSER

MATRICE DELLA REVISIONE
REVISION MATRIX

Stazione appaltante Awarding body		AUTORITA' PORTUALE DI TARANTO <i>PORT AUTHORITY OF TARANTO</i>	
Incarico Job		RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORÀNEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE <i>REDEVELOPMENT OF THE MOLO POLISETTORIALE</i> <i>NEW BREAKWATER FOR THE PROTECTION OF THE OUTER PORT OF TARANTO - WEST SIDE</i>	
Livello progettuale Project level		PROGETTO DEFINITIVO <i>DETAILED DESIGN</i>	
Soggetto attuatore Under authorization Taranto Container Terminal s.p.a. per l'Autorità Portuale di Taranto Taranto Container Terminal Ltd. for Port Authority of Taranto	Titolo Title RELAZIONE TECNICA <i>TECHNICAL REPORT</i>	Area code 0130 TAR	
		Title code 03109-01	
		Check R08	Job code C-03
Design by S.J.S. Engineering s.r.l. *Roma (00187) Via Collina, n. 36 Taranto (74123) P.zza Castel S. Angelo, n.11 Mosca (123242) Krasnaya Presnaya st. 22 - Ufficio 3 Certified office* COMPANY WITH QUALITY SYSTEM CERTIFIED BY DNV = ISO 9001 =	Progettista responsabile/Head designer Dott. Ing. Michelangelo Lentini Progettisti/Designers Dott. Ing. Alessandro Porretti Dott. Ing. Rocco Isola Dott. Ing. Maria Santoro		Filename 0130TAR03109-01-R08.doc
Edited Porretti, Santoro	Checked ML	Date February 2014	

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	1 Di <i>of</i> 47



INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
1.1	PREMESSA	4
1.2	RISULTATI DELLE PROVE IDRAULICHE SU MODELLO FISICO	5
1.3	DESCRIZIONE GENERALE DELL' OPERA.....	7
2.	INQUADRAMENTO	14
3.	DIMENSIONAMENTO DELLA SCOGLIERA	16
3.1	TEMPO DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO	16
3.2	TRASFERIMENTO DELL'ONDA SOTTO COSTA.....	19
3.3	MANTELLATA	21
3.3.1	Mantellata esterna in massi artificiali	26
3.3.2	Mantellata interna in massi naturali	30
3.4	STRATO FILTRO	33
3.4.1	Strato filtro esterno	34
3.4.2	Strato filtro interno	35
3.5	BERMA AL PIEDE DELLA MANTELLATA	37
3.6	NUCLEO.....	40
4.	VERIFICA DI RUN-UP.....	41
5.	CONCLUSIONI	46

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	2 Di <i>of</i> 47


INDICE TABELLE

Tabella 1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni in posto	14
Tabella 2 Durata minima di vita per opere e strutture di carattere definitivo (Tv).....	16
Tabella 3 Massima probabilità di danneggiamento P_f ammissibile nel periodo di vita operativa.....	17
Tabella 4 Onda di progetto al largo	18
Tabella 5 Valori del coefficiente i danneggiamento S per massi naturali.....	22
Tabella 6 Valori di K_b suggeriti per la valutazione del peso degli elementi di rivestimento 1	24
Tabella 7 Valori delle altezze d'onda utilizzate nei calcoli.....	26
Tabella 8 Pezzatura dei massi della mantellata esterna.....	27
Tabella 9 Coefficienti di forma K suggeriti dal C.E.R.C. e percentuali di vuoti.....	28
Tabella 10 Spessore mantellata esterna	29
Tabella 11 Larghezza mantellata esterna.....	30
Tabella 12 Pezzatura dei massi naturali della mantellata interna tra la sez. 120 e la sez. 400.....	31
Tabella 13 Pezzatura dei massi artificiali della mantellata interna tra la sez. 410 e la sez. 480	31
Tabella 14 Spessore della mantellata interna in massi naturali e artificiali.....	32
Tabella 15 Calcolo spessore strato filtro in massi naturali.....	34
Tabella 16 Calcolo spessore strato filtro in massi naturali tra sezione +120 e sezione +400	35
Tabella 17 Calcolo spessore strato filtro in massi naturali tra sezione +410 e sezione +480	36
Tabella 18 Calcolo della berma in massi naturali - paramento esterno della diga.....	38
Tabella 19 Calcolo della berma in massi naturali – Paramento interno tra la sezione +120 e la sezione +400	39
Tabella 20 Calcolo della berma in massi naturali – Paramento interno tra la sezione +410 e la sezione +480	39
Tabella 21 Valori del fattore di rugosità γ_f per scogliere a gettata	43
Tabella 22 Valori della portata di tracimazione per le sezioni 430 e 250 nella versione definitiva	44

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	3 Di <i>of</i> 47

INDICE FIGURE

Figura 1 Inquadramento generale.....	8
Figura 2 Planimetria della diga e sezioni di calcolo.....	9
Figura 3 Sezione tipologica di testata in corrispondenza della progressiva +50.00 m	10
Figura 4 Sezione tipologica di testata in corrispondenza della progressiva +525.00 m.....	11
Figura 5 Sezione tipologica del corpo diga in corrispondenza della progressiva +250.00m.....	12
Figura 6 Sezione tipologica del corpo diga in corrispondenza della progressiva +430.00m.....	13
Figura 7 Abaco per il calcolo della profondità di frangimento (Wegel 1972).....	20
Figura 8 Sezione tipo consigliata - Coastal Engineering Manual.....	33
Figura 9 Tipologie di frangimento	41
Figura 10 Diagramma di Saville per valutare la risalita dell'onda sulla scarpata	42
Figura 11 Coefficiente correttivo che tiene conto della scabrezza	42
Figura 12 Valori critici della portata di tracimazione - Coastal Engineering Manual.....	45

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	4 Di <i>of</i> 47

1. INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

Nella seguente relazione di calcolo si affronta il dimensionamento relativo al progetto definitivo del tratto di ponente della Nuova Diga Foranea di protezione del Porto Fuori Rada, nell'ambito del progetto di riqualificazione del Molo Polisetoriale di Taranto.

Viene illustrato, dopo un inquadramento geologico, geotecnico e meteomarinico, il calcolo idraulico di dimensionamento dei massi costituenti l'opera a gettata a protezione della Darsena Polisetoriale (V sporgente e Molo Polisetoriale) dall'agitazione ondosa, anche attraverso specifici riferimenti agli elaborati grafici.

La nuova diga foranea, prevista dal nuovo PRP, verrà realizzata in aggiunta all'esistente diga foranea a parete verticale di lunghezza di circa 1450 m e realizzata negli anni 80 a protezione del Molo Polisetoriale. La diga in progetto consentirà, assieme alla diga esistente, oltre alla protezione degli accosti che si andranno a realizzare nell'ambito dell'ampliamento del V Sporgente, una maggiore efficienza e sicurezza degli accosti alle banchine del Molo Polisetoriale ove è in esercizio un terminal container in concessione alla Taranto Container Terminal S.p.A..

Nel corso dell'elaborazione del nuovo Piano Regolatore Portuale sono state studiate diverse alternative di progetto per ottimizzare la configurazione del sistema di opere di difesa foranee del porto fuori rada. A seguito di accurati studi sulla fattibilità tecnica, funzionale ed economica, richiesti dal C.S.LL.PP., si è giunti alla posizione planimetrica della nuova diga foranea riportata negli elaborati del nuovo PRP, con lunghezza di 1300 m e asse in direzione NO-SE, consentendo la previsione di un secondo canale di accesso al porto. Tale soluzione, rispetto alle problematiche di interazione del manufatto con i terreni scadenti presenti sul fondale, è stata definita come fattibile dal C.S.LL.PP. con parere n. 48/2010 reso nella seduta del 24/03/2010.

Nell'Ottobre del 2012 la S.J.S. Engineering ha redatto, e consegnato all'Autorità Portuale di Taranto, la progettazione preliminare della nuova diga foranea del porto fuori rada.

Obiettivo della progettazione è stato quello di andare a meglio definire il quadro conoscitivo geologico-geotecnico affinché le prime indicazioni riportate nei documenti a corredo del Piano Regolatore potessero trovare una conferma suffragata da dati tecnici.

Attraverso il ricorso a sofisticati modelli matematici si è quindi proceduto all'individuazione della configurazione provvisoria della diga che garantisce il più alto grado di protezione per il Molo Polisetoriale, pur nei limiti delle somme indicate all'interno dell'Accordo per il rilancio dei traffici nel porto di Taranto", siglato il 20 giugno 2012 presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	5 Di <i>of</i> 47

Il risultato di questo lungo processo si è concretizzato nella soluzione di un primo lotto funzionale di lunghezza pari a circa 500m denominato poi "Tratto di ponente", la cui testata nord-ovest, ovvero quella più vicina all'esistente paleo-alveo del fiume Tara, è stata posizionata a circa 100m rispetto alla posizione planimetrica della testata prevista dal PRP nella configurazione finale e ad una distanza di circa 500m dalla esistente diga foranea in cassoni cellulari.

Tale soluzione ha permesso l'ottenimento dei migliori risultati possibili che, nello specifico, si concretizzano in una diminuzione sensibile del coefficiente di disturbo all'interno del bacino della darsena polisetoriale, nonché nel contenimento dei costi di costruzione che, diversamente, avrebbero visto un aumento sensibile per effetto della necessaria asportazione del materiale incoerente posizionato in corrispondenza del paleo-alveo.

Il presente aggiornamento del Progetto Definitivo viene emesso per ottemperare alle prescrizioni espresse dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Provveditorato per le Opere Pubbliche Puglia e Basilicata con Voto n. 24 del 10/05/2013, a seguito della trasmissione della prima emissione del Progetto Definitivo da parte dell'Autorità Portuale di Taranto con nota prot. N. 000055/CS/TEC del 04/04/2013. In particolare, il Provveditorato per le Opere Pubbliche Puglia e Basilicata ha prescritto quanto segue: *"che stante l'importanza dell'investimento occorrente per la realizzazione dell'opera, si ritiene necessario verificare, tra l'altro, anche con l'utilizzo di una modellazione fisica e numerica, la stabilità idraulica e gli effetti della tracimazione ai fini dell'ottimizzazione della sezione"*.

1.2 RISULTATI DELLE PROVE IDRAULICHE SU MODELLO FISICO

A seguito delle prescrizioni di cui al sopracitato voto n. 24 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, la SJS Engineering s.r.l. ha incaricato il Dipartimento di Ingegneria della Innovazione dell'Università del Salento di eseguire uno studio sperimentale su modello fisico in canale marittimo, finalizzato, appunto, alla verifica della stabilità degli elementi della mantellata e dei livelli di tracimazione inerenti la diga in questione. Il continuo confronto tra Progettisti e Consulenti ha portato, per affinamenti successivi, alla definizione di una nuova sezione per la Diga a gettata, semplificata e costruttivamente meno articolata, che è stata poi opportunamente verificata, nelle diverse condizioni di moto ondoso, andando a valutare tanto la stabilità quanto la tracimazione.

L'impostazione metodologica dello studio condotto in Laboratorio è riassunta nelle seguenti fasi:

1. Approvvigionamento dei materiali, costruzione degli elementi costituenti le sezioni da testare, ovvero: massi naturali per la realizzazione di nucleo e strato filtro, tetrapodi per la realizzazione della mantellata;
2. Costruzione del modello dei fondali e dell'opera e successivo posizionamento nel canale marittimo;

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	6 Di <i>of</i> 47

3. Strumentazione del modello per la verifica sperimentale della stabilità e della tracimazione;
4. Prove preliminari per la verifica dell'apparecchiatura sperimentale e per la redazione della check-list sperimentale definitiva;
5. Conduzione delle misure sperimentali relative alla ricerca del moto ondoso con le caratteristiche richieste dalla SJS;
6. Riunione intermedia per l'esatta definizione delle condizioni di prova;
7. Conduzione delle misure sperimentali relative agli attacchi ondosi definitivi propagati su un mare con sovrizzo di progetto (+0.5 m) per la prima sezione in esame;
8. Conduzione delle misure sperimentali relative agli attacchi ondosi definitivi propagati su un mare con sovrizzo di progetto (+0.5 m) per la seconda sezione in esame;
9. Analisi preliminare dei dati;
10. Emissione del report intermedio sulle prove condotte;
11. Individuazione di due ulteriori sezioni da sottoporre a verifica in canale in seguito ai risultati del report intermedio;
12. Conduzione delle misure sperimentali relative agli attacchi ondosi definitivi propagati su un mare con sovrizzo di progetto (+0.5 m) per la terza sezione in esame;
13. Conduzione delle misure sperimentali relative agli attacchi ondosi definitivi propagati su un mare con sovrizzo di progetto (+0.5 m) per la quarta sezione in esame;
14. Emissione del report finale.

Mediante la modellazione fisica in canale marittimo della diga è stato possibile sia effettuare misure dei volumi di tracimazione sia verificare la stabilità della struttura, andando conseguentemente ad apportare le opportune variazioni alla pezzatura dei massi naturali impiegati per la mantellata lato porto, in quanto in prima battuta era stato previsto l'impiego di massi naturali di III cat. (3000 ÷ 7000 kg). Infatti, poiché dalle prove in laboratorio era emersa, sotto l'onda di progetto incrementata del 10% per ragioni di sicurezza, *"una qualche instabilità della mantellata lato porto"*, nel caso di impiego di massi naturali di III categoria, mentre *"una condizione di stabilità con danno nullo"*, nel caso di utilizzo di massi naturali da 7t-10t (IV cat.), si è deciso di adottare una configurazione della diga che preveda l'uso di massi naturali di IV cat. (Per la descrizione dettagliata delle prove condotte in canale e dei risultati ottenuti si veda l'allegato *"Prove idrauliche su modelli fisici a supporto della progettazione della nuova diga foranea nel Porto di Taranto – Rapporto finale"*).

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	7 Di <i>of</i> 47

1.3 DESCRIZIONE GENERALE DELL' OPERA

L'opera di difesa in oggetto sarà realizzata secondo la tradizionale tipologia di scogliera a gettata, costituita da un nucleo in tout-venant di cava protetto da una mantellata in tetrapodi e massi naturali disposti in doppio strato e poggianti su una berma di protezione al piede realizzata in massi naturali. Tra il nucleo e la mantellata è previsto un doppio strato filtro realizzato in massi naturali, di II categoria lungo il paramento esterno e di I categoria lungo il paramento interno, avente la funzione di impedire l'asportazione del tout-venant di cava attraverso le cavità della mantellata ad opera del moto ondoso. Ad ulteriore protezione del nucleo e come contenimento delle dispersioni di materiale a granulometria più fine è prevista la posa in opera di una membrana geotessile all'interfaccia nucleo-filtro.

La nuova diga sarà definita dalle seguenti caratteristiche geometriche:

- sviluppo longitudinale complessivo a l.m.m. : 500m
- direzione asse : NO-SE (circa 132° N)
- massima larghezza al piede nel tratto corrente : 65m
- massima larghezza al piede nel tratto di testata : 85 m
- massima larghezza in cresta : 14 m
- quota massima rispetto l.m.m. : 5,70m



La nuova diga sarà posizionata planimetricamente a circa 500 m dal tratto terminale SE della diga esistente in cassoni, consentendo la realizzazione di un secondo canale di accesso al porto con larghezza di circa 300m.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data/Date Febbraio 2014
RELAZIONE TECNICA			Pagina <i>Page</i> 8 Di <i>of</i> 47



Figura 1 Inquadramento generale

Le quote di imbasamento della scogliera sono variabili lungo lo sviluppo longitudinale della stessa; la variabilità del peso degli strati superficiali di materiali compressibili ha imposto, infatti, la rimozione e sostituzione con materiale scapolo di spessori differenti dello strato superficiale, con particolare accorgimenti nelle tastate in prossimità del paleo alveo del Fiume Tara e della testata SE. Il dragaggio di imbonimento del fondale raggiungerà, quindi, quote diverse al fine di rimuovere quasi completamente lo spessore dello strato limo-argilloso-sabbioso (LITOTIPO A cfr. doc. 130TAR03103). Le scarpate di transizione tra le terrazze di dragaggio a quote diverse avranno pendenza 3:1 (base : altezza) così come le scarpate di raccordo tra il fondo di dragaggio e il fondale naturale.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		9	47

Per quanto che riguarda le caratteristiche costruttive della diga foranea, essa risulta costituita, in riferimento alle sezioni evidenziate in Figura 2, dai seguenti elementi:

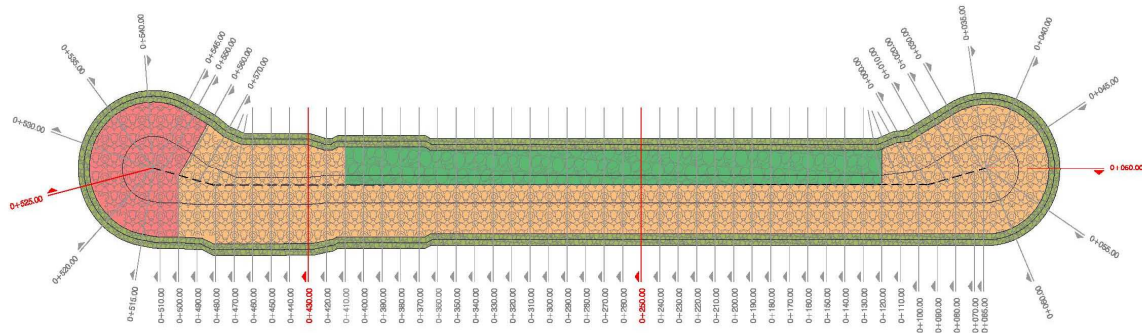


Figura 2 Planimetria della diga e sezioni di calcolo

Sezione 0+050,00 m (testata SE)

- mantellata ⇒ n. 2 strati di tetrapodi da 16 t (circa 50 % di vuoti), per uno spessore di 3,90 m, posti in opera con scarpa 2/3 e berma stabilizzante al piede, in massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), di larghezza in testa pari a 3 m ed altezza pari a 2 m;
- filtro ⇒ massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), per uno spessore di 2 m, posti in opera con scarpa 2/3;
- nucleo ⇒ tout-venant da 5÷100 kg (circa 23% di vuoti), posto in opera con scarpa 2/3, protetto da un geotessuto all'interfaccia con il filtro;
- scanno d'imbasamento ⇒ pietrame scapolo da 5÷50 kg, per uno spessore di 6 m.

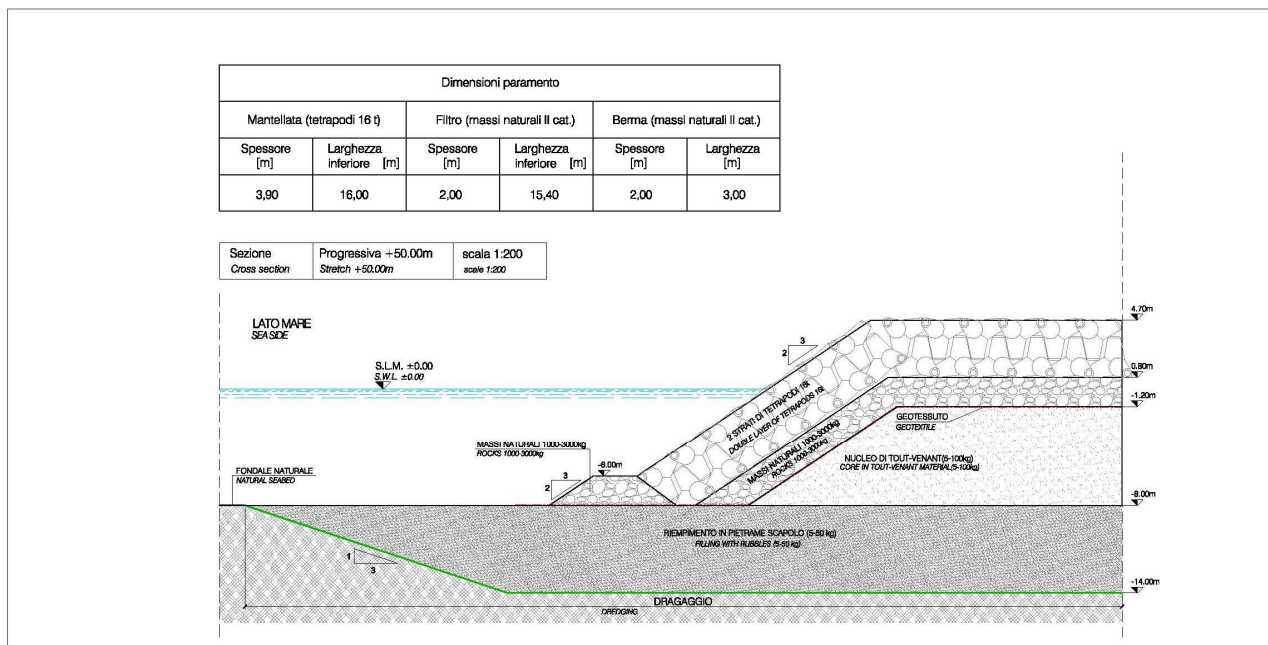


Figura 3 Sezione tipologica di testata in corrispondenza della progressiva +50.00 m

Sezione 0+525,00 m (testata NO)

- mantellata ⇒ n. 2 strati di tetrapodi da 20 t (circa 50 % di vuoti), per uno spessore di 4,20 m, posti in opera con scarpa 2/3 e berma stabilizzante al piede, in massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), di larghezza in testa pari a 3 m ed altezza pari a 2 m;
- filtro ⇒ massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), per uno spessore di 2 m, posti in opera con scarpa 2/3;
- nucleo ⇒ tout-venant da 5÷100 kg (circa 23% di vuoti), posto in opera con scarpa 2/3, protetto da un geotessuto all'interfaccia con il filtro;
- scanno d'imbasamento ⇒ pietrame scapolo da 5÷50 kg, per uno spessore di 2 m.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		11	47

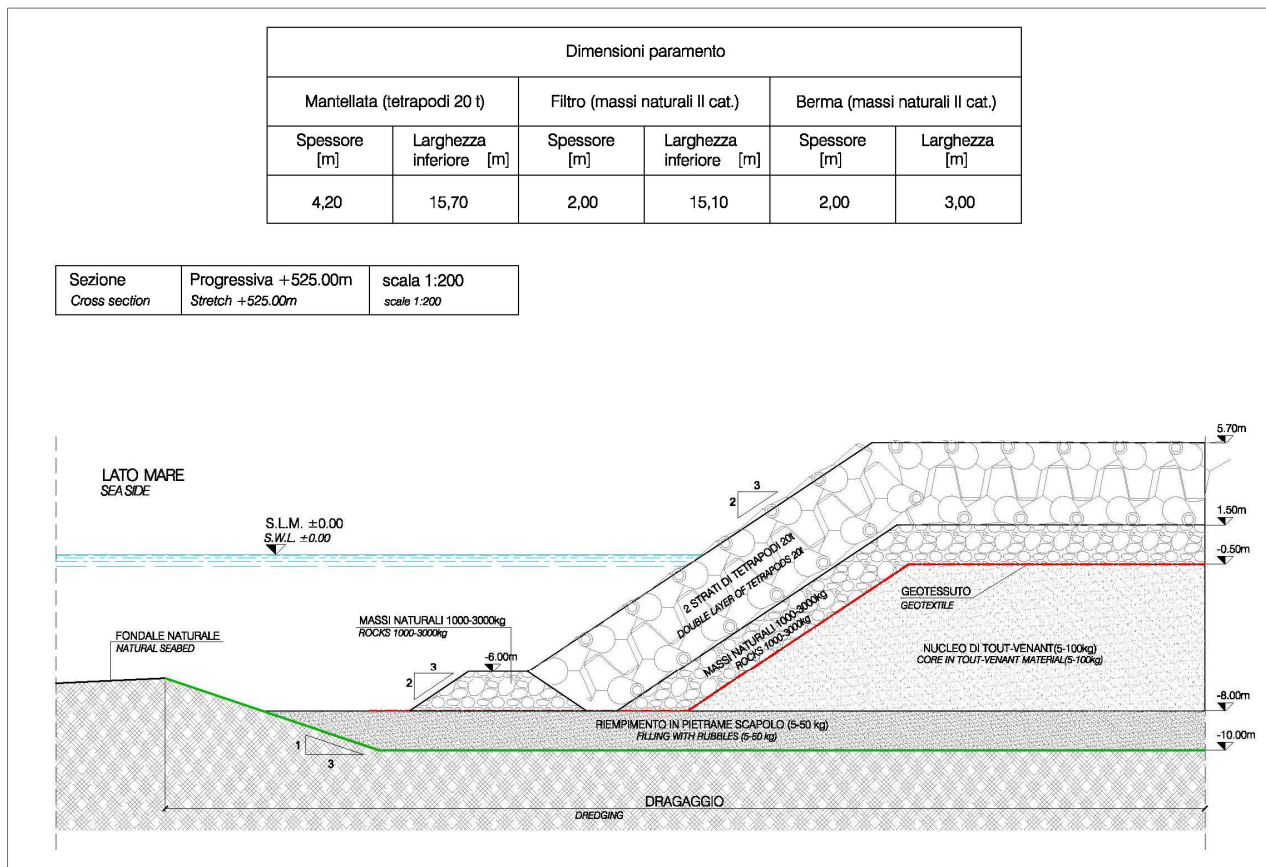



Figura 4 Sezione tipologica di testata in corrispondenza della progressiva +525.00 m

Sezione 0+250,00 m (tratto corrente)

- mantellata lato esterno ⇒ n. 2 strati di tetrapodi da 16 t (circa 50 % di vuoti), per uno spessore di 3,90 m, posti in opera con scarpa 2/3 e berma stabilizzante al piede, in massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), di larghezza in testa pari a 3 m ed altezza pari a 2 m;
- mantellata lato interno ⇒ massi naturali da 7.000÷10.000 kg (circa 35% di vuoti), per uno spessore di 3,0 m, posti in opera con scarpa 2/3 e berma stabilizzante al piede, in massi naturali da 1000÷3000 kg (circa 35% di vuoti), di larghezza in testa pari a 3 m ed altezza pari a 2 m;
- filtro lato esterno ⇒ massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), per uno spessore di 2 m, posti in opera con scarpa 2/3;
- filtro lato interno ⇒ massi naturali da 100÷1000 kg (circa 35% di vuoti), per uno spessore di 1,20 m, posti in opera con scarpa 2/3;

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		12	47

- nucleo ⇒ tout-venant da 5÷100 kg (circa 23% di vuoti), posto in opera con scarpa 2/3, protetto da un geotessuto all'interfaccia con il filtro;
- scanno d'imbasamento ⇒ pietrame scapolo da 5÷50 kg, per uno spessore variabile da 1,50 m a 2 m.

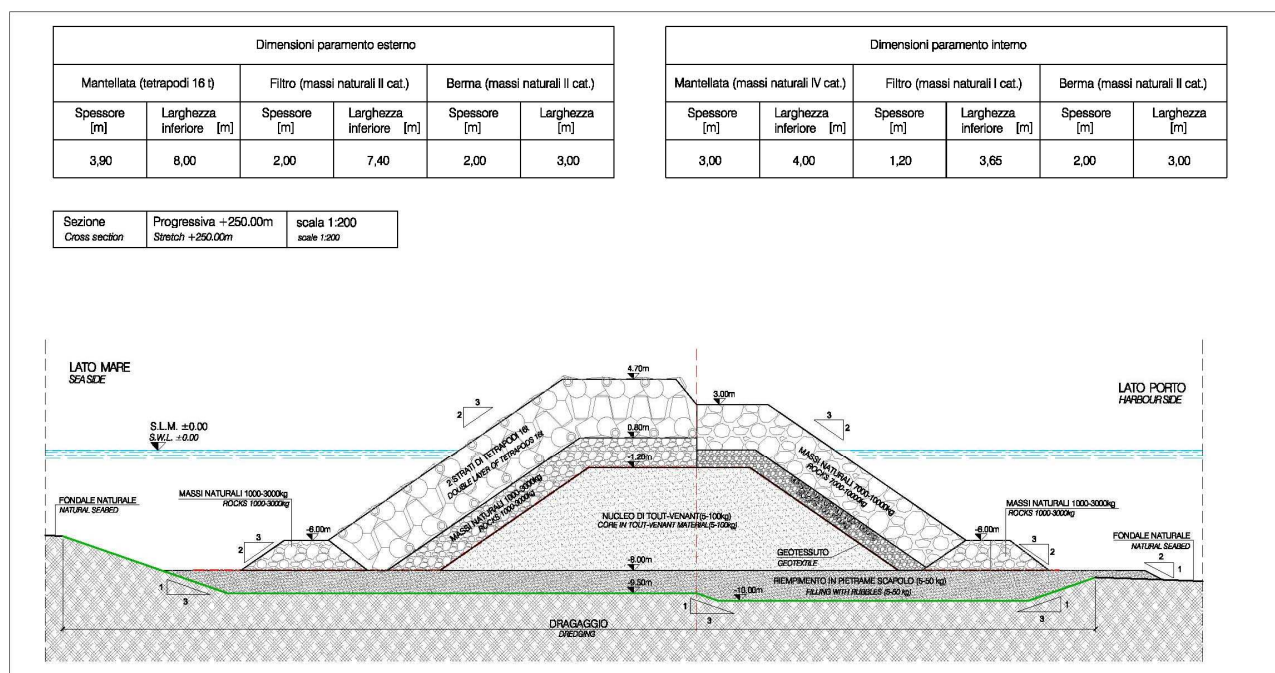




Figura 5 Sezione tipologica del corpo diga in corrispondenza della progressiva +250.00m

Sezione 0+430,00 m (tratto corrente)

- mantellata lato esterno ⇒ n. 2 strati di tetrapodi da 16 t (circa 50% di vuoti), per uno spessore di 3,90 m, posti in opera con scarpa 2/3 e berma stabilizzante al piede, in massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), di larghezza in testa pari a 3 m ed altezza pari a 2 m;
- mantellata lato interno ⇒ n. 2 strati di tetrapodi da 16 t (circa 50 % di vuoti), per uno spessore di 3,90 m, posti in opera con scarpa 2/3 e berma stabilizzante al piede, in massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), di larghezza in testa pari a 3 m ed altezza pari a 2,0 m;
- filtro lato esterno ⇒ massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), per uno spessore di 2,00 m, posti in opera con scarpa 2/3;

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		13	47

- filtro lato interno ⇒ massi naturali da 1.000÷3.000 kg (circa 35% di vuoti), per uno spessore di 2 m, posti in opera con scarpa 2/3;
- nucleo ⇒ tout-venant da 5÷100 kg (circa 23% di vuoti), posto in opera con scarpa 2/3, protetto da un geotessuto all'interfaccia con il filtro;
- scanno d'imbasamento ⇒ pietrame scapolo da 5÷50 kg, per uno spessore di 2 m.

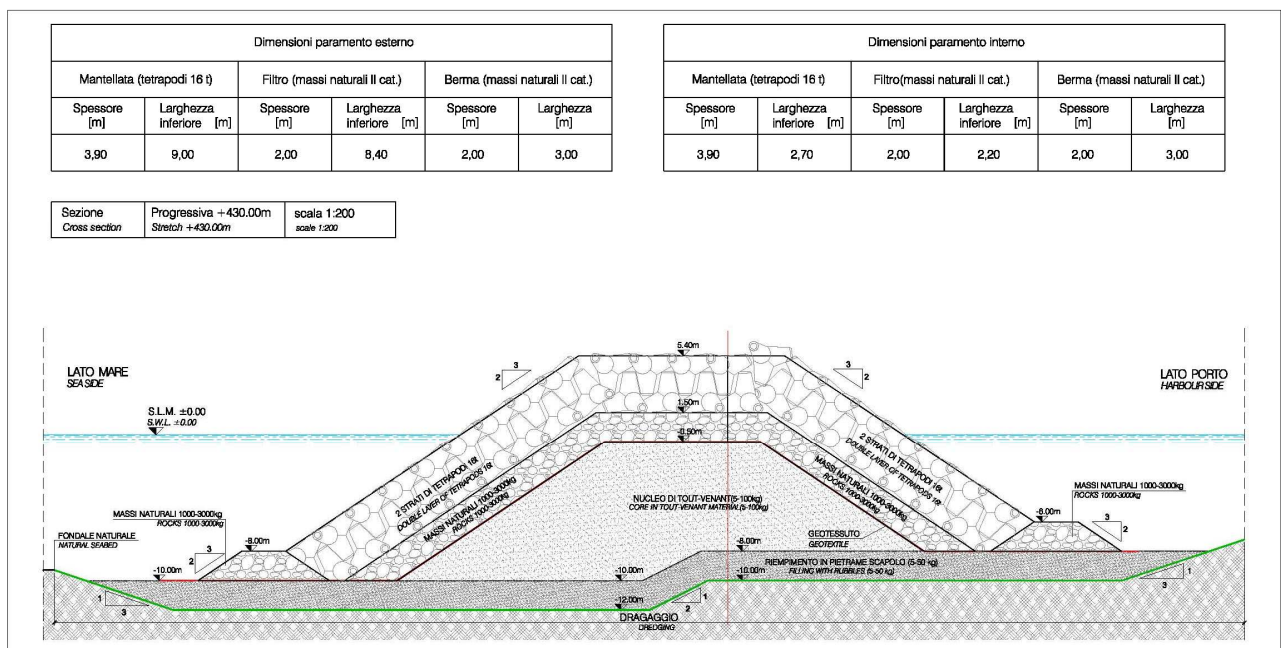


Figura 6 Sezione tipologica del corpo diga in corrispondenza della progressiva +430.00m

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	14 Di <i>of</i> 47

2. INQUADRAMENTO

La progettazione di una diga foranea a gettata consta dei seguenti aspetti tecnici fondamentali:

- verifica geotecnica di stabilità strutturale e valutazione dei cedimenti attesi;
- studio meteomarinario per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto;
- progettazione idraulica degli elementi costituenti il corpo della scogliera.

L'analisi geotecnica ha consentito di predisporre una campagna di indagini ad hoc al fine di definire lo schema geotecnico di riferimento per un corretto dimensionamento dell'opera. (vedi Tabella 1).

Tabella 1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni in posto



LITOTIPO	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	C_u [kPa]	E [MPa]
LITOTIPO A	19,0	26,0	0,0	-	7,0
LITOTIPO B1	20,0	-	-	175	12,0
LITOTIPO B2	21,0	-	-	235	15,0

Le verifiche svolte, sia in termini di resistenza sia in termini di deformabilità, hanno tutte restituito esito positivo in merito alla geometria ipotizzata per il corpo diga lungo le varie sezioni, sia in condizioni statiche che sismiche. Detto risultato è comunque subordinato all'esecuzione di uno scavo di bonifica (dragaggio) dei sedimenti di copertura (LITOTIPO A) e successiva sostituzione con pietrame scapolo al fine di trasferire i carichi della scogliera direttamente al substrato argilloso consistente (LITOTIPO B). Si evidenzia come si sia ottenuto esito positivo anche per la verifica di stabilità del profilo temporaneo di scavo, nelle condizioni maggiormente critiche, per la realizzazione dell'imbasamento della diga.

Lo studio meteomarinario condotto ha consentito di stimare l'altezza d'onda di progetto per assegnato periodo di ritorno cui sarà sottoposta durante la sua vita l'opera in progetto. La determinazione dell'onda di progetto è stata effettuata ricorrendo alla modellazione numerica dei fenomeni che governano la trasformazione del moto ondoso nel suo propagarsi dal largo a sottocosta attraverso il modulo SW (Spectral Waves), del codice di calcolo MIKE 21 del Danish Hydraulic Institute (DHI).

Le altezze d'onda vengono determinate con metodi probabilistici ovvero ricercando una legge di distribuzione rappresentativa del campione di dati disponibile ed estrapolando detta legge fino ai tempi di ritorno congrui con le esigenze dello studio.

L'analisi statistica è stata condotta sui dati ondometrici direttamente rilevati (metodo diretto) o ricostruiti a partire da dati anemometrici (metodo indiretto), ottenendo le onde estreme a largo. I

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	15 Di <i>of</i> 47

dati di output di entrambe le metodologie sono le altezze significative e i periodi significativi delle onde estreme massime, rappresentative del paraggio, da utilizzare per il dimensionamento dell'opera.

Successivamente tali onde sono state implementate nel modulo SW (Spectral Waves) del codice di calcolo MIKE 21 del DHI ottenendo la loro trasposizione al punto sottocosta di interesse, ovvero in prossimità della diga foranea di progetto.

Per approfondimenti riguardo gli aspetti e le verifiche geotecniche si rimanda all'elaborato 130TAR03103 mentre per lo Studio Meteomarinario all'elaborato 130TAR03107, facenti parte del presente progetto.

Nell'accertare la stabilità degli elementi costituenti la scogliera, va tenuto presente il possibile spostamento di ogni singolo elemento che la compone e il rischio che questo comporta per la stabilità dell'intera mantellata. Va quindi eseguita, per ogni sezione considerata, la verifica di stabilità idraulica, ossia la capacità del singolo elemento a restare nella propria sede.

Nei paragrafi seguenti vengono ampiamente descritti e riportati i calcoli di dimensionamento idraulico dei singoli elementi costituenti la scogliera attraverso richiami alla trattazione teorica di letteratura.

La verifica di run-up è stata effettuata per controllare che l'ipotesi di sezione del corpo diga, scaturita dal dimensionamento idraulico degli elementi e da esigenze di carattere costruttivo, potesse essere confermata garantendo una modesta portata di overtopping.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	16 Di <i>of</i> 47

3. DIMENSIONAMENTO DELLA SCOGLIERA

3.1 TEMPO DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO

Il primo step nella progettazione della diga è consistito nel valutare la durata di vita presunta, in relazione al progetto in cui è inserita, tenuto conto delle sue caratteristiche funzionali.

Si valuta, inoltre, il livello di rischio e la probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione. Nelle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996) si consigliano i valori riportati nella Tabella 2.

Tabella 2 Durata minima di vita per opere e strutture di carattere definitivo (Tv)


Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Per infrastrutture di uso generale si intendono le opere di difesa di complessi civili o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere ed installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	17 Di <i>of</i> 47

Nel caso in esame, la nuova diga foranea, può essere considerata una infrastruttura ad uso generale con un livello di sicurezza pari a 2; pertanto può essere assunto un tempo di vita dell'opera pari a 50 anni.

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si devono assumere le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (ad es. dighe a gettata), come la scogliera in esame, si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione. Per queste opere si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva.

Tabella 3 Massima probabilità di danneggiamento P_f ammissibile nel periodo di vita operativa

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	18 Di <i>of</i> 47

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed al costo totale per la realizzazione dell'opera è rispettivamente minore di 5, compreso fra 5 e 20 oppure maggiore di 20.

La combinazione dei tempo di vita dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento P_f , determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} :

$$T_{rp} = \frac{T_v}{[-\ln(1 - P_f)]} \quad (1)$$

Nel caso in esame si può considerare un rischio limitato di perdita di vita umana ed una ripercussione economica bassa. Assumendo uno scenario di danneggiamento incipiente dell'opera, si impone $P_f = 0,5$ e quindi dalla (1) si ottiene $T_{rp} = 72$ anni.

A favore di sicurezza nella progettazione è stato considerato $T_{rp} = 100$ anni.

Si richiama di seguito la tabella riepilogativa delle caratteristiche dell'onda di progetto al largo individuata a valle di opportune considerazioni effettuate nello Studio Meteomarinò e riportate nell'elaborato 130TAR03107.

Tabella 4 Onda di progetto al largo

TEMPO DI RITORNO T_{rp}	ALTEZZA SIGNIFICATIVA H_s	PERIODO SIGNIFICATIVO
[anni]	[m]	[s]
100	6,16	10,7

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	19 Di <i>of</i> 47

3.2 TRASFERIMENTO DELL'ONDA SOTTO COSTA



Per procedere al dimensionamento della nuova diga foranea è necessario valutare le trasformazioni che subisce l'onda di progetto propagandosi dal largo verso riva. Una volta ottenuti i valori delle caratteristiche ondose al largo si è proceduto con il trasferimento sotto costa delle onde determinate considerando i vari effetti che agiscono separatamente su di esse: rifrazione e shoaling, ovvero rotazione e riduzione del fronte d'onda, che provocano la variazione della celerità di propagazione e dell'altezza d'onda dalla situazione a largo a quella a profondità ridotte, sino al limite del frangimento. Nel nostro caso il trasferimento sotto costa è stato eseguito con il modulo di calcolo SW di MIKE21.

Nel caso in esame la scogliera a gettata segue uno sviluppo longitudinale in direzione N0-SE con batimetrie variabili lungo lo sviluppo, l'altezza dell'onda di progetto a ridosso dell'opera sarà diversa per ciascuna delle sezioni di verifica adottate. Come primo approccio alle verifiche, si procederà di seguito con l'individuazione della profondità di frangimento dell'onda di progetto.

Questa può essere valutata utilizzando formule ed abachi presenti in letteratura; in primis è necessario individuare l'altezza d'onda frangente corrispondente alla nostra onda di progetto e per fare ciò si può utilizzare l'indice semi-empirico di Komar e Gaughan riportato sul CEM:

$$\Omega_b = \frac{H_b}{H_0} = 0,56 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{5}} = 1,097 \quad (2)$$

Ottenuta, in questo modo, $H_b = 6,76 \text{ m}$, utilizzando l'abaco riportato in Figura 7, nota la pendenza del fondale $\tan\beta=0,02$, è possibile ricavare il valore dell'indice di frangimento $\gamma_b = \frac{H_b}{d_b} = 0,85$ e, quindi, la profondità di frangimento dell'onda di progetto $d_b = -7,9 \text{ m s. l. m.}$

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		20	47

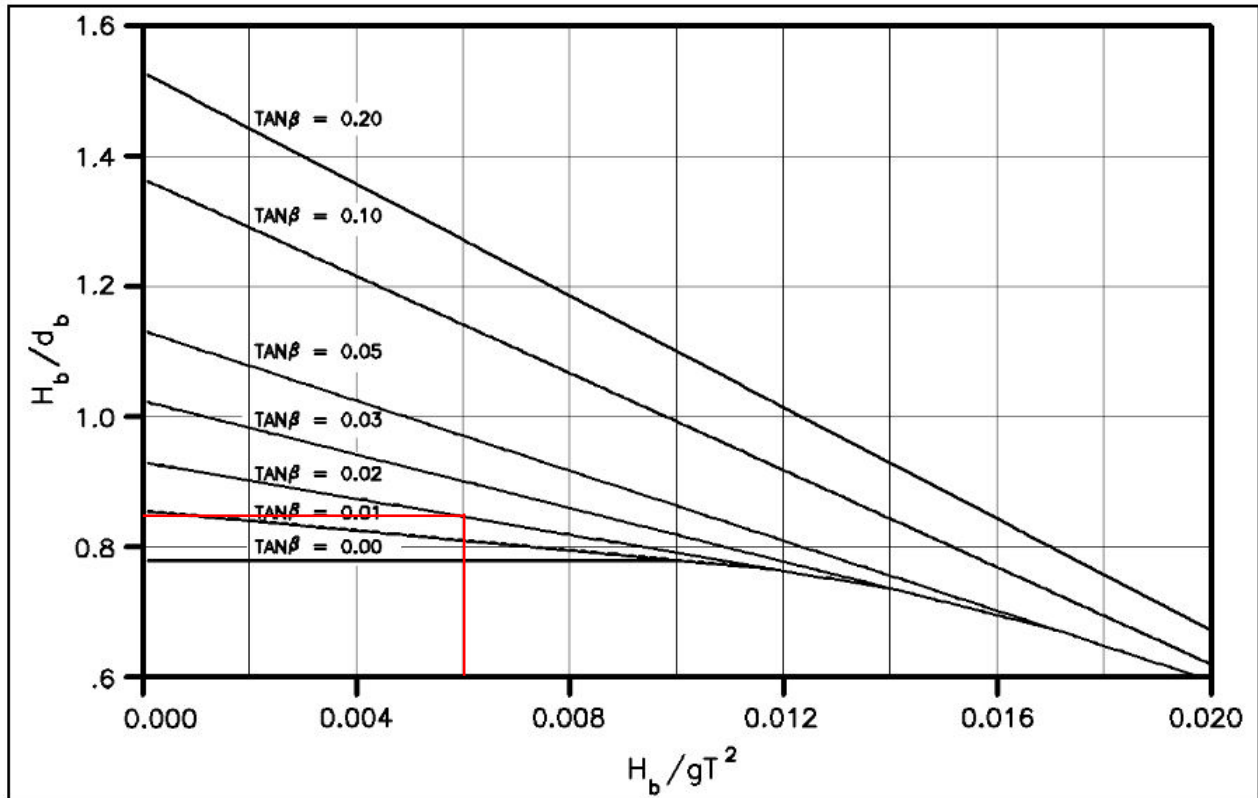


Figura 7 Abaco per il calcolo della profondità di frangimento (Wegle 1972)

Appurato che l'onda di progetto considerata frange all'incirca in corrispondenza della batimetrica posta alla quota di -8,00 m, nei successivi calcoli di verifica idraulica delle differenti sezioni individuate, si procederà come segue:

- Profondità < -8,00 m s.l.m.m.: sarà considerata la massima onda compatibile con il fondale, calcolata secondo la formulazione di Kamphuis (1992) di seguito riportata :

$$H_b = 0,56 \cdot h_b \cdot e^{3,5m} \quad (3)$$

dove m rappresenta la pendenza media del fondale, considerata pari a 0,02.

- Profondità \geq -8,00 m s.l.m.m.: sarà considerata l'altezza significativa dell'onda al piede dell'opera, che deriva dalla propagazione dell'onda di progetto dal largo verso riva, attraverso il modulo SW del Mike21.

Nelle formule precedenti si è considerata come profondità dei fondali quella ottenuta dal rilievo batimetrico.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data/Date Febbraio 2014
	RELAZIONE TECNICA		Pagina Page 21 Di of 47

3.3 MANTELLATA

La mantellata costituisce la parte dell'opera a diretto contatto con le onde frangenti nella parte più esposta all'azione del moto ondoso, per cui le dimensioni degli elementi che la costituiscono vanno commisurate all'intensità dell'azione dell'onda.

La verifica della stabilità delle varie parti strutturali di una diga a gettata ha inizio proprio dalla mantellata, cioè dalla parte che interagisce direttamente con i carichi agenti (moto ondoso), proteggendo a sua volta gli strati più interni e il nucleo sottostante.

Per dimensionare la mantellata esterna e verificarne la stabilità idraulica, si è fatto riferimento alla formula di Van Der Meer (1988), valida unicamente per scogliere in massi tetrapodi disposti in doppio strato secondo un'inclinazione di 1/1.5, che viene di seguito riportata:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(3.75 N_{od}^{0.5} / N_z^{0.25} + 0.85 \right) \cdot s_{om}^{-0.2} \quad (4)$$

dove:

H_s = altezza d'onda significativa al piede dell'opera;

ρ_s = peso specifico di volume dei massi, assunto pari a 2,4 t/m³;

ρ_w = peso specifico dell'acqua marina, assunto pari a 1,024 t/m³;

$\Delta = (\rho_s / \rho_w) - 1$;

D_n = spigolo del cubo equivalente (ad es. del cubo di pari volume a quello del tetrapodo);

N_{od} = numero di massi rimossi dalla mantellata all'interno di una fascia di mantellata di larghezza pari a D_n ;

N_z = numero di onde della mareggiata

s_{om} = ripidità dell'onda, pari al rapporto tra l'altezza significativa al piede dell'opera (H_s) e la lunghezza d'onda al largo riferita al periodo medio (L_{om})

Tale formula può essere esplicitata rispetto al peso medio P dei massi da adottare per la mantellata, in funzione del valore assunto per il coefficiente di danneggiamento N_{od} , secondo la (5):

$$P = \frac{H_s \gamma_s}{\Delta \cdot (3.75 N_{od}^{0.5} / N_z^{0.25} + 0.85) \cdot s_{om}^{-0.2}} \quad (5)$$

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		22	47

Di seguito si riporta la formula per calcolare il valore per il coefficiente di danneggiamento N_{od} per massi artificiali, in funzione del valore del coefficiente del danneggiamento S per massi naturali (Secondo EM 1110-2-1100, Part. VI), in modo da attribuire ad N_{od} , in fase di dimensionamento della mantellata, valori che non comportino la possibile crisi dell'opera.

$$\text{Van Der Meer (1998)} \left\{ \begin{array}{l} \text{Cubi, pendenza 1: 1.5} \quad N_{od} = (S - 0,4)/1,8 \\ \text{Tetrapodi, pendenza 1: 1.5} \quad N_{od} = (S - 1)/2 \\ \text{Accropodi, pendenza 1: 1.33} \quad N_{od} = (S - 1)/2 \end{array} \right.$$

Tabella 5 Valori del coefficiente i danneggiamento S per massi naturali


PENDENZA	INIZIO DEL DANNO	DANNO INTERMEDIO	CRISI DELL'OPERA
1,5	2	3-5	8
2	2	4-6	8
3	2	6-9	12
4	3	8-12	17
6	3	8-12	17

Per dimensionare la mantellata interna si è fatto riferimento alla formula di HUDSON, elaborata presso la W.E.S. di Vicksburg, sulla base di prove di laboratorio ed osservazioni sperimentali, eseguite con una serie di onde elementari monocromatiche, che viene di seguito riportata:

$$\frac{H_S}{\Delta D_{50}} = (K_D \cdot \cotg \alpha)^{1/3} \quad (6)$$

Tale formula può essere esplicitata rispetto al peso medio P dei massi da adottare per la mantellata in funzione di un assegnato grado di stabilità e considerando l'onda frangente o non frangente in relazione alla sezione considerata secondo la (7):

$$P = \frac{\gamma_S H_S^3}{K_D \left(\frac{\gamma_S}{\gamma_0} - 1 \right)^3 \cotg(\alpha)} \quad (7)$$

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	23 Di <i>of</i> 47

dove:

H_s = altezza d'onda significativa espressa in m, che, date le caratteristiche dell'opera e per maggiore sicurezza, viene assunta pari all'altezza significativa al piede dell'opera sul lato direttamente esposto al moto ondoso;

D_{n50} = spigolo del cubo equivalente al masso mediano;

$$\Delta = (\gamma_s / \gamma_0) - 1$$

γ_s = peso specifico di volume dei massi naturali, assunto pari a 2,4 t/m³

γ_0 = peso specifico dell'acqua marina, assunto pari a 1,024 t/m³

K_D = coefficiente di stabilità;

α = pendenza della scarpata sull'orizzontale, assunto pari a 1,5.

Il coefficiente k_D si trova tabellato sullo Shore Protection Manual, come di seguito riportato nella Tabella 6.



	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08			
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014			
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	24	Di <i>of</i>	47

Tabella 6 Valori di K_D suggeriti per la valutazione del peso degli elementi di rivestimento 1

INDICAZIONI DI NON DANNEGGIAMENTO E DI RIDOTTA TRACIMAZIONE							
Unità di ricoprimento	n^3	Rivestimento	Tronco struttura		Struttura di testa		Pendenza cot α
			K_D^2		K_D		
			Zona frangente	Zona non frangente	Zona frangente	Zona non frangente	
Massi naturali							
Spigoli arrotondati	2,00	Alla rinfusa	1,20	2,40	1,10	1,90	1,5 - 3,0
Spigoli vivi	>3,00	Alla rinfusa	1,60	3,20	1,40	2,30	⁵
Spigoli vivi	1,00	Alla rinfusa ⁴	⁴	2,90	⁴	2,30	⁵
Spigoli vivi					1,90	3,20	1,50
	2,00	Alla rinfusa	2,00	4,00	1,60	2,80	2,00
					1,30	2,30	3,00
Spigoli vivi	>3,00	Alla rinfusa	2,20	4,50	2,10	4,20	5,00
Spigoli vivi	2,00	Speciale ⁶	5,80	7,00	5,30	6,40	
Parallelepipedi	2,00	Speciale ¹	7,0 - 20,0	8,5 - 24,0	-	-	
Tetrapodi e Quadripodi					5,00	6,00	1,50
	2,00	Alla rinfusa	7,00	8,00	4,50	5,50	2,00
					3,50	4,00	3,00
"Tribar"					8,30	9,00	1,50
	2,00	Alla rinfusa	9,00	10,00	7,80	8,50	2,00
					6,00	6,50	3,00
"Dolos"	2,00	Alla rinfusa	15,80 ⁸	31,80 ⁹	8,00	16,00	2,00 ⁹
					7,00	14,00	3,00
Cubi modificati	2	Alla rinfusa	6,50	7,50	-	5,00	5,00
Esapodi	2	Alla rinfusa	8,00	9,50	5,00	7,00	5,00
"Toskane"	2	Alla rinfusa	11,00	22,00	-	-	5,00
"Tribar"	1	Uniforme	12,00	15,00	7,50	9,50	5,00

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		25	47

INDICAZIONI DI NON DANNEGGIAMENTO E DI RIDOTTA TRACIMAZIONE							
Unità di ricoprimento	n ³	Rivestimento	Tronco struttura		Struttura di testa		Pendenza
			K _D ²		K _D		
			Zona frangente	Zona non frangente	Zona frangente	Zona non frangente	cot α
Massi naturali							
Spigoli mediamente arrotondati	-	Alla rinfusa	2,20	2,50	-	-	

- (1) Attenzione: I valori di K_D mostrati in tabella non sono confermati dai risultati di prove sperimentali condotte in Italia.
- (2) Applicabile a superfici inclinate con pendenze da 1 su 1,5 a 1 su 5
- (3) n numero di elementi costituenti lo strato di rivestimento
- (4) L'utilizzo di un solo strato filtro di massi naturali non si raccomanda per opere in zona frangente, e solo verificate particolari condizioni per opere in zona non frangente. Qualora venissero adoperati si raccomanda molta cura nella loro collocazione.
- (5) Alla luce di maggiori conoscenze è ipotizzabile la variazione del K_D con la pendenza; l'uso del K_D potrebbe essere limitato solo a pendenze comprese tra 1 su 1,5 a 1 su 3. In testata alcuni elementi di rivestimento hanno evidenziato una dipendenza tra il K_D e la pendenza.
- (6) Collocazione speciale dei massi: massi collocati perpendicolarmente all'asse della struttura 1 su 1,5 a 1 su 3. In testata alcuni elementi di rivestimento hanno evidenziato una dipendenza tra il K_D e la pendenza.
- (7) Forma dei massi parallelepipedi: la dimensione maggiore si pone pari a circa 3 volte quella minore (Markle e Davdson, 1979).testata alcuni elementi di rivestimento hanno evidenziato una dipendenza tra il K_D e la pendenza.
- (8) Con riferimento ad una percentuale di danneggiamento nulla (< 5 %); qualora possa assumersi una percentuale di danneggiamento <2% il K_D può essere dimezzato.
- (9) La stabilità dei dolos per pendenze superiori a 1 su 2 può essere verificata mediante l'ausilio di opportune prove su modello.

Secondo Hudson, K_D è un coefficiente adimensionale dipendente dal tipo di masso (naturale o artificiale), dal numero di strati, dall'ubicazione della sezione di calcolo (testata o tronco struttura), dall'angolo di scarpa, dal tipo di onda incidente (frangente o non frangente al piede dell'opera).

Il coefficiente stesso dipende anche dalle modalità di attacco da parte delle onde; si distinguono a tale riguardo due situazioni tipiche, quella di frangimento che avviene sulla mantellata (no breaking waves) e quella di frangimento provocata dal fondale prima che le onde aggrediscano l'opera (breaking waves). In quest'ultimo caso, le onde esercitano la loro azione sul paramento fin dal primo momento che vi entrano in contatto; le sollecitazioni che inducono sull'opera sono maggiori e quindi il peso minimo necessario alla stabilità risulta maggiore (K_D minore).

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	26 Di <i>of</i> 47

In merito all'aliquota di danneggiamento prevista per un assegnato K_D va ricordato che, secondo Hudson, l'opera può considerarsi ancora integra quando la percentuale di danni non supera il 5%.

3.3.1 Mantellata esterna in massi artificiali

Applicando l'equazione (5) sono stati ottenuti i pesi medi dei massi artificiali (tetrapodi), individuati per ciascuna sezione di verifica.

Come anticipato al Paragrafo 3.2, l'altezza d'onda utilizzata nei calcoli, data la disposizione planimetrica della diga e nota la profondità di frangimento dell'onda di progetto, varia al variare della profondità della sezione considerata, come riportato in Tabella 7.

Tabella 7 Valori delle altezze d'onda utilizzate nei calcoli

d [m]	Altezza d'onda utilizzata nei calcoli [m]	
5,5	3,30	
6,0	3,60	
6,5	3,90	Massimi valori dell'altezza d'onda compatibili con il fondale secondo Kamphuis
7,0	4,20	
7,5	4,50	
8,0	3,42	
8,5	3,42	
9,0	3,42	Altezza d'onda significativa in corrispondenza della profondità -10 m s.l.m.m. ricavata con il modulo SW del Mike21
9,5	3,42	
10,0	3,42	

La pendenza α è stata scelta pari a $2/3$ (altezza su base). Tale pendenza deve essere uguale o inferiore all'angolo naturale del materiale scaricato; inoltre le pendenze più dolci (es. $1/2$) risultano più stabili, meno riflettenti e meno tracimabili, ma richiedono volumi maggiori di materiale con maggior costo, difficoltà di posa, occupazione dello spazio; per cui si è scelta una pendenza di poco più elevata per ragioni di ingombro e di economia, che garantisce comunque una buona stabilità.

Dai calcoli effettuati e dai risultati delle prove su modello fisico in canale, di cui al Paragrafo 1.2, si è dedotto che per la mantellata esterna sia necessario utilizzare due tipologie di tetrapodi, ossia da 16t e da 20t.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		27	47

Nella Tabella 8 per alcune sezioni ritenute significative, date le variazioni di profondità del fondale, vengono riportate le pezzature adottate per i tetrapodi, tenendo conto della relazione di Van Der Meer (in cui si sono posti N_{od} pari a 0, N_z pari a 12.000 ed L_o pari a 178m) e delle prove idrauliche di verifica condotte in canale.

Tabella 8 Pezzatura dei massi della mantellata esterna

Progressiva sezione	Massi Peso specifico γ_s	Acqua marina Peso specifico γ_w	Profondità fondale	cotg α	Altezza significativa H_s	Peso dei massi di progetto
	[t/m ³]	[t/m ³]	[m]		[m]	[t]
+000	2,4	1,024	8,0	1,5	3,42	16
+050	2,4	1,024	8,0	1,5	3,42	16
+100	2,4	1,024	8,0	1,5	3,42	16
+150	2,4	1,024	7,0	1,5	4,20	16
+200	2,4	1,024	7,0	1,5	4,20	16
+250	2,4	1,024	6,0	1,5	3,60	16
+300	2,4	1,024	7,0	1,5	4,20	16
+350	2,4	1,024	8,5	1,5	3,42	16
+400	2,4	1,024	9,0	1,5	3,42	16
+430	2,4	1,024	9,5	1,5	3,42	16
+450	2,4	1,024	10,0	1,5	3,42	16
+500	2,4	1,024	8,0	1,5	3,42	20
+525	2,4	1,024	7,0	1,5	4,20	20
+550	2,4	1,024	6,0	1,5	3,60	20

Gran parte della mantellata esterna verrà realizzata con tetrapodi da 16t, facilitando in tal modo l'organizzazione operativa del cantiere, data l'uniformità dei pesi dei tetrapodi. L'utilizzo di tetrapodi di pezzatura maggiore, ovvero da 20 t, è limitato infatti alla sola testata nord-ovest, in quanto, a differenza della testata sud-est, che risulta protetta dall'isola di San Pietro, è direttamente esposta all'agitazione ondososa.

Per il completamento del dimensionamento della mantellata occorre determinarne lo spessore.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		28	47

Lo spessore minimo può essere dedotto dalla relazione:

$$S = nK \left(\frac{P}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (8)$$

dove:

n = numero degli strati

K = coefficiente di forma

P/γ_s = dimensione lineare caratteristica del blocco.

Come consigliato in letteratura e dalle "Istruzioni Tecniche" per la progettazione delle dighe marittime il numero degli strati deve essere $n \geq 2$; nel caso in questione si è scelto, appunto, $n=2$.

Nella Tabella 9 sono riportati i valori dei coefficienti di forma K suggeriti dal C.E.R.C. per i diversi tipi di blocchi più frequentemente adottati.

Tabella 9 Coefficienti di forma K suggeriti dal C.E.R.C. e percentuali di vuoti

TIPO DI ELEMENTO	NUMERO DI STRATI	MESSA IN OERA	K	PERCENTUALE DEI VUOTI
Naturali Spig. Arrotondati	2	alla rinfusa	1,02	38
Naturali Spig. Vivi	2	alla rinfusa	1,00	37
Naturali Spig. Vivi	3	alla rinfusa	1,00	40
Cubo Modificato	2	alla rinfusa	1,10	47
Tetrapodo	2	alla rinfusa	1,04	50
Quadripodo	2	alla rinfusa	0,95	49
Esapodo	2	alla rinfusa	1,15	47
Tribar	2	alla rinfusa	1,02	54
Dolos	2	alla rinfusa	1,00	63
Tribar	1	uniforme	1,13	47
Massi Naturali	gran. assortita	alla rinfusa	-	37

Nel caso di massi artificiali tipo tetrapodi si avrà, pertanto, $K=1,04$.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		29	47

Nella Tabella 9 sono riportate anche le percentuali di vuoti occorrenti per computare il volume di materiale necessario alla costruzione della mantellata; nel caso dei tetrapodi la percentuale dei vuoti suggerita è pari a 50%, valore confermato dalle prove di laboratorio condotte.

I risultati del dimensionamento dello spessore della mantellata sono riassunti nella Tabella 10.

Tabella 10 Spessore mantellata esterna

Progressiva sezione	Profondità fondale	n° strati	Coefficiente di strato K	Peso medio dei massi	Peso specifico cls γ_s	Spessore strato
	[m]	-	-	[t]	[t/m ³]	[m]
+000	8,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+050	8,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+100	8,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+150	7,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+200	7,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+250	6,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+300	7,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+350	8,5	2	1,040	16	2,4	3,91
+400	9,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+430	9,5	2	1,040	16	2,4	3,91
+450	10,0	2	1,040	16	2,4	3,91
+500	8,0	2	1,040	20	2,4	4,22
+525	7,0	2	1,040	20	2,4	4,22
+550	6,0	2	1,040	20	2,4	4,22

La larghezza minima della mantellata in corrispondenza della sommità della diga (a quota di affioramento massimo) è stata valutata imponendo il posizionamento, lato mare, di 3 tetrapodi sul sottostante strato filtro esterno. Nella Tabella 11 viene riportato il calcolo delle larghezze della mantellata esterna per le varie sezioni analizzate. La larghezza massima è risultata pari a 6,33 m.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		30	47

Tabella 11 Larghezza mantellata esterna

n° sezione	Profondità fondale	Spessore strato S	Larghezza minima mantellata
	[m]	[m]	[m]
+000	8,0	3,91	5,87
+050	8,0	3,91	5,87
+100	8,0	3,91	5,87
+150	7,0	3,91	5,87
+200	7,0	3,91	5,87
+250	6,0	3,91	5,87
+300	7,0	3,91	5,87
+350	8,5	3,91	5,87
+400	9,0	3,91	5,87
+430	9,5	3,91	5,87
+450	10,0	3,91	5,87
+500	8,0	4,22	6,33
+525	7,0	4,22	6,33
+550	6,0	4,22	6,33

3.3.2 Mantellata interna in massi naturali

Per la mantellata interna si è deciso di utilizzare massi naturali di IV categoria, ossia di peso compreso tra 7 e 10 t, tra la sezione +120,00m e la sezione +400,00m e di impiegare tetrapodi da 16 t tra la sezione +410,00m e la sezione +480,00m, a seguito delle verifiche condotte sul modello fisico in canale delle sezioni precedentemente dimensionate mediante la formula di Hudson. La pendenza α è stata scelta pari a $2/3$ (altezza su base).

Nella Tabella 12 vengono riportate le dimensioni della mantellata interna.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE		Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA		Pagina Page 31	Di of 47

Tabella 12 Pezzatura dei massi naturali della mantellata interna tra la sez. 120 e la sez. 400

Progressiva sezione	MASSI Peso specifico γ_s	ACQUA MARINA Peso specifico γ_w	Profondità fondale	Altezza significativa H_s	Coefficiente di stabilità K_D	cotg α	Peso medio dei massi
	[t/m ³]	[t/m ³]	[m]	[m]			[t]
+120	2,4	1,024	8,0	3,42	2,5	1,5	IV cat.
+150	2,4	1,024	9,0	3,42	2,5	1,5	IV cat.
+200	2,4	1,024	10,0	3,42	2,5	1,5	IV cat.
+250	2,4	1,024	9,0	3,42	2,5	1,5	IV cat.
+300	2,4	1,024	8,0	3,42	2,5	1,5	IV cat.
+350	2,4	1,024	8,0	3,42	2,5	1,5	IV cat.
+400	2,4	1,024	8,0	3,42	2,5	1,5	IV cat.

Tabella 13 Pezzatura dei massi artificiali della mantellata interna tra la sez. 410 e la sez. 480

Progressiva sezione	MASSI Peso specifico γ_s	ACQUA MARINA Peso specifico γ_0	Profondità fondale	Altezza significativa H_s	Coefficiente di stabilità K_D	cotg α	Peso medio dei massi
	[t/m ³]	[t/m ³]	[m]	[m]			[t]
+420	2,4	1,024	6,5	3,90	2,5	1,5	16t
+430	2,4	1,024	6,5	3,90	2,5	1,5	16t
+450	2,4	1,024	6,0	3,60	2,5	1,5	16t

I risultati del dimensionamento dello spessore della mantellata interna sono riassunti nella Tabella 14, ottenuti considerando un valore di K pari a 1,02 per i massi naturali e 1,04 per i tetrapodi.


	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	Di <i>of</i>
		32	47

Tabella 14 Spessore della mantellata interna in massi naturali e artificiali

n° sezione	Profondità fondale	n° strati	Coefficiente di strato K	Peso medio dei massi	Peso specifico massi γ_s	Spessore strato
	[m]	-	-	[t]	[t/m ³]	[m]
+120	8,0	2	1,02	IV cat.	2,4	3,20
+150	9,0	2	1,02	IV cat.	2,4	3,20
+200	10,0	2	1,02	IV cat.	2,4	3,20
+250	9,0	2	1,02	IV cat.	2,4	3,20
+300	8,0	2	1,02	IV cat.	2,4	3,20
+350	8,0	2	1,02	IV cat.	2,4	3,20
+400	8,0	2	1,02	IV cat.	2,4	3,20

Progressiva sezione	Profondità fondale	n° strati	Coefficiente di strato K	Peso medio dei massi	Peso specifico cls γ_s	Spessore strato
	[m]	-	-	[t]	[t/m ³]	[m]
+420	6,5	2	1,04	16	2,4	3,91
+430	6,5	2	1,04	16	2,4	3,91
+450	6,0	2	1,04	16	2,4	3,91

3.4 STRATO FILTRO

Per evitare il sifonamento del nucleo prima del posizionamento della mantellata è necessario interporre almeno uno strato filtro costituito da massi naturali di peso compreso tra 1/10 ed 1/15 del peso dei massi della mantellata sovrastante. (Figura 8)

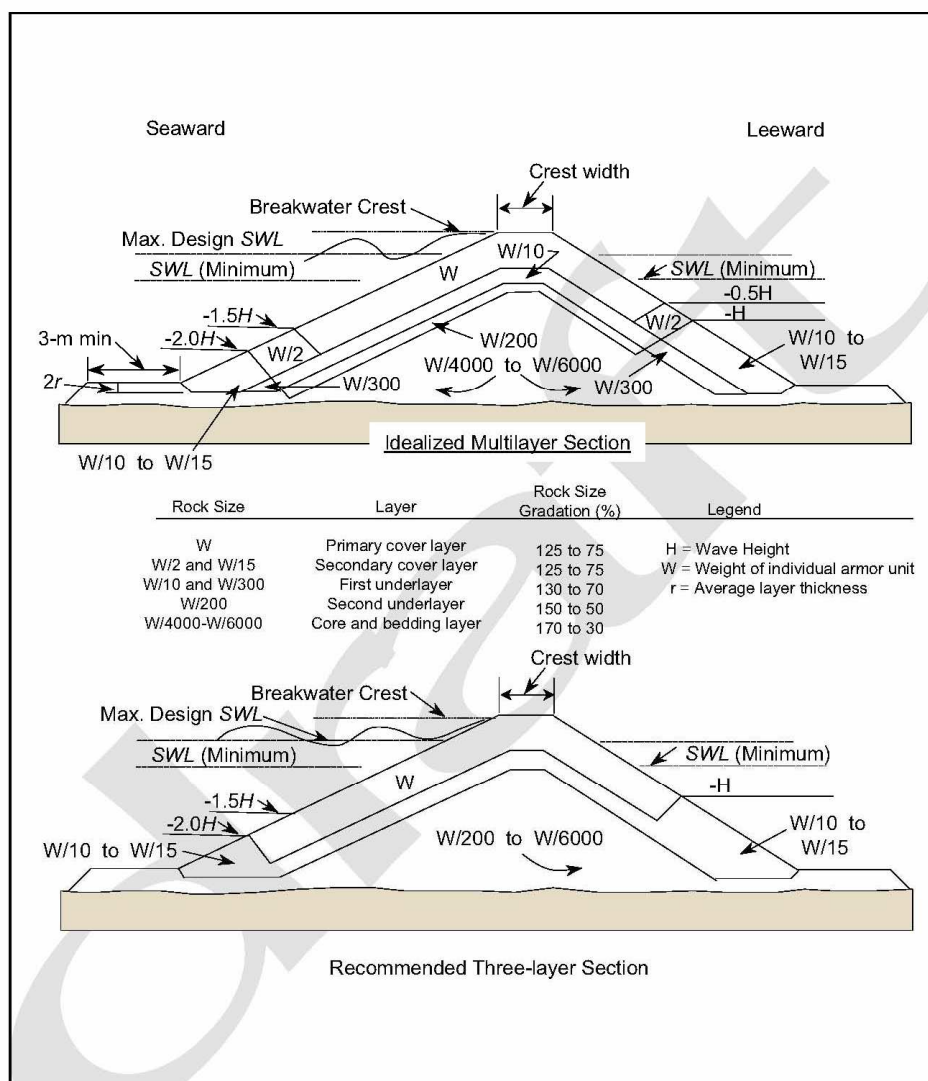


Figure VI-5-54. Rubble-mound section for seaward wave exposure with zero-to-moderate overtopping conditions

Figura 8 Sezione tipo consigliata - Coastal Engineering Manual

Ottenuto il peso medio dei massi P_{50} , si individua la categoria di massi naturali che si ritiene essere più idonea, tenendo presente che almeno il 50% dei massi deve avere peso maggiore di P_{50} .

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08			
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014			
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	34	Di <i>of</i>	47

Lo spessore minimo dello strato filtro viene ricavato con la formula (10)

$$S = nK \left(\frac{P}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (9)$$

dove:

$n = 2$ è il numero degli strati;

K = coefficiente di forma, per i massi naturali a spigoli arrotondati pari a 1,02;

$\gamma_s = 2400 \text{ kg/m}^3$ è il peso specifico dei massi naturali;

P = peso medio dei massi [kg].

3.4.1 Strato filtro esterno

I risultati del dimensionamento, insieme ai valori assunti delle citate grandezze necessarie al calcolo, sono stati riportati nella Tabella 15.

Tabella 15 Calcolo spessore strato filtro in massi naturali

n° sez.	Profondità	n° strati	Coeff. di strato K	Peso dei massi mantellata	Peso medio (*) massi filtro	Peso massi filtro [t]		Peso specifico dei massi γ_s	Spessore strato
						da	a		
	[m]			[t]	[t]	[t]	[t]	[t/m ³]	[m]
+000	8,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+050	8,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+100	8,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+150	7,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+200	7,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+250	6,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+300	7,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+350	8,5	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+400	9,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE					Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08			
	PROGETTO DEFINITIVO					Data/Date Febbraio 2014			
	RELAZIONE TECNICA					Pagina Page 35		Di of 47	

n° sez.	Profondità	n° strati	Coeff. di strato K	Peso dei massi mantellata	Peso medio (*) massi filtro	Peso massi filtro [t]		Peso specifico dei massi γ_s	Spessore strato
						da	a		
	[m]			[t]	[t]	[t]	[t]	[t/m ³]	[m]
+430	9,5	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+450	10,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+500	8,0	2	1,02	20	1,6	1,0	3,0	2,4	1,92
+525	7,0	2	1,02	20	1,6	1,0	3,0	2,4	1,92
+550	6,0	2	1,02	20	1,6	1,0	3,0	2,4	1,92

(*) Il peso medio dei massi dello strato filtro è pari ad 1/12 del peso dei massi del corrispondente strato di mantellata

Lo strato filtro esterno risulta costituito da massi naturali con peso tra 1.000 e 3.000 kg (massi di II cat.) e spessore pari a circa 2 m per tutte le sezioni.



3.4.2 Strato filtro interno

I risultati del dimensionamento, insieme ai valori assunti delle citate grandezze necessarie al calcolo, sono stati riportati nella Tabella 16.

Tabella 16 Calcolo spessore strato filtro in massi naturali tra sezione +120 e sezione +400

n° sezione	Profondità	n° strati	Coeff. di strato K	Peso dei massi mantellata	Peso medio (*) massi filtro	Peso massi filtro [t]		Peso specifico dei massi γ_s	Spessore strato
						da	a		
	[m]			[t]	[t]	[t]	[t]	[t/m ³]	[m]
+120	8,0	2	1,02	10	0,8	0,1	1	2,4	1,21
+150	9,0	2	1,02	10	0,8	0,1	1	2,4	1,21
+200	10,0	2	1,02	10	0,8	0,1	1	2,4	1,21
+250	9,0	2	1,02	10	0,8	0,1	1	2,4	1,21
+300	8,0	2	1,02	10	0,8	0,1	1	2,4	1,21
+350	8,0	2	1,02	10	0,8	0,1	1	2,4	1,21
+400	8,0	2	1,02	10	0,8	0,1	1	2,4	1,21

(*) Il peso medio dei massi dello strato filtro è pari ad 1/12 del peso dei massi del corrispondente strato di mantellata

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08			
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014			
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	36	Di <i>of</i>	47


Per le sezioni dalla progressiva 0+120,00m alla 0+400,00m, essendo la mantellata interna costituita con massi naturali di IV cat., è previsto uno strato filtro costituito da massi naturali con peso tra 100 e 1000 kg (I cat.) e spessore pari a 1,20m.

Tabella 17 Calcolo spessore strato filtro in massi naturali tra sezione +410 e sezione +480

n° sezion e	Profondità	n° strati	Coeff. di strato K	Peso dei massi mantellata	Peso medio (*) massi filtro	Peso massi filtro [t]		Peso specifico dei massi γ_s	Spessore strato
						da	a		
	[m]			[t]	[t]	[t]	[t]	[t/m ³]	[m]
+420	6,5	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+430	6,5	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92
+450	6,0	2	1,02	16	1,28	1,0	3,0	2,4	1,92

(*) Il peso medio dei massi dello strato filtro è pari ad 1/12 del peso dei massi del corrispondente strato di mantellata

Per le sezioni dalla progressiva 0+410,00m alla 0+480,00m, essendo la mantellata interna costituita con tetrapodi da 16t, è previsto uno strato filtro costituito da massi naturali con peso tra 1.000 e 3.000 kg (II cat.) e spessore pari a circa 2 m.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	37 Di <i>of</i> 47

3.5 BERMA AL PIEDE DELLA MANTELLATA

Al piede delle mantellata sarà posta una berma avente la funzione di sostenere la mantellata stessa e di proteggere il terreno sottostante dall'azione diretta del moto ondoso. La quota di sommità della berma deve trovarsi ad una profondità rispetto al l.m.m. tale che gli effetti del moto ondoso in corrispondenza del cavo risultino poco sensibili, ovvero pari almeno a $-1 \div -1,2 H_s$ ed evitare quindi il frangimento diretto.

Il dimensionamento dei massi al piede è determinato principalmente da tale "tirante idrico", al di sopra della berma, attraverso la seguente formula di Burcharth (1995):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(0,4 \frac{h_b}{\Delta D_{n50}} + 1,6 \right) N_{od}^{0,15} \quad (10)$$

dove:

h_b = la profondità in corrispondenza della sommità del piede (tirante idrico);

H_s = l'altezza d'onda significativa;

N_{od} = coefficiente di danno;

D_{n50} = spigolo del cubo equivalente al masso mediano;

$\Delta = (\gamma_s/\gamma_w) - 1$.

Il campo di validità della formula è dato da:

$$3 < \frac{h_b}{D_{n50}} < 25 \quad (11)$$

Bisogna, inoltre, controllare che il peso dei massi che vanno a costituire le berme sia dell'ordine di P/10 rispetto al peso P dei massi di mantellata (Figura 8).

Nel caso in questione, come si legge nella Tabella 18, si è quindi calcolato sia il peso medio derivante dalla formula di Burcharth, che quello pari ad 1/10 del peso dei massi della mantellata e si è scelto il peso maggiore tra i due. Si è poi ottimizzato l'assortimento delle pezzature di peso medio, omogeneizzando quelle con pesi simili.

Una volta individuato il peso medio è stata ricavata la corrispondente categoria di massi naturali, tenendo sempre presente che almeno il 50% dei massi deve avere peso maggiore di P_{50} .

Il dimensionamento della berma in corrispondenza delle varie sezioni delle scogliere, è riassunto nella Tabella 18.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE		Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA		Pagina Page 38	
			Di of 47	

Tabella 18 Calcolo della berma in massi naturali - paramento esterno della diga

N° sez	MASSI NAT. γ_s	ACQUA MARINA γ_w	Prof. Fond.	Altezza signif. Hs	Dn50 Bourcharth	Peso massi Bourcharth	Peso massi mantellata	Peso massi Pmant. /10	Peso medio massi	Dn50	Larghezza berma	Spessore berma
	[t/m ³]	[t/m ³]	[m]	[m]	[m]	[t]	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]
+000	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+050	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+100	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+150	2,4	1,024	7,0	4,20	1,05	2,81	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+200	2,4	1,024	7,0	4,20	1,05	2,81	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+250	2,4	1,024	6,0	3,60	0,74	0,99	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+300	2,4	1,024	7,0	4,20	1,05	2,81	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+350	2,4	1,024	8,5	3,42	0,65	0,66	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+400	2,4	1,024	9,0	3,42	0,65	0,66	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+430	2,4	1,024	9,5	3,42	0,65	0,66	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+450	2,4	1,024	10,0	3,42	0,65	0,66	16	1,6	II cat.	0,94	2,88	1,92
+500	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	20	2	II cat.	0,94	2,88	1,92
+525	2,4	1,024	7,0	4,20	1,05	2,81	20	2	II cat.	0,94	2,88	1,92
+550	2,4	1,024	6,0	3,60	0,74	0,99	20	2	II cat.	0,94	2,88	1,92

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE								Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08						
		PROGETTO DEFINITIVO								Data/Date Febbraio 2014					
RELAZIONE TECNICA								Pagina <i>Page</i>		39		Di <i>of</i>		47	


Tabella 19 Calcolo della berma in massi naturali – Paramento interno tra la sezione +120 e la sezione +400

N° sez	MASSI NAT. γ_s	ACQUA MARINA γ_w	Prof. Fond.	Altezza signif. H_s	Dn50 (Bourchart)	Peso massi (Bourchart)	Peso massi mantellata	Peso massi Pmant./10	Peso medio massi	Dn50	Larghezza berma	Spessore berma
	[t/m ³]	[t/m ³]	[m]	[m]	[m]	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]	[m]
+120	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	10	1	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+150	2,4	1,024	9,0	3,42	0,65	0,66	10	1	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+200	2,4	1,024	10,0	3,42	0,65	0,66	10	1	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+250	2,4	1,024	9,0	3,42	0,65	0,66	10	1	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+300	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	10	1	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+350	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	10	1	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+400	2,4	1,024	8,0	3,42	0,65	0,66	10	1	Il cat.	0,94	2,88	1,92

Tabella 20 Calcolo della berma in massi naturali – Paramento interno tra la sezione +410 e la sezione +480

N° sez	MASSI NAT. γ_s	ACQUA MARINA γ_w	Prof. Fond.	Altezza signif. H_s	Dn50 (Bourchart)	Peso massi (Bourchart)	Peso massi mantellata	Peso massi Pmant./10	Peso medio massi	Dn50	Larghezza berma	Spessore berma
	[t/m ³]	[t/m ³]	[m]	[m]	[m]	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]	[m]
+420	2,4	1,024	6,5	3,90	0,90	1,73	16	1,6	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+430	2,4	1,024	6,5	3,90	0,90	1,73	16	1,6	Il cat.	0,94	2,88	1,92
+450	2,4	1,024	6,0	3,60	0,74	0,98	16	1,6	Il cat.	0,94	2,88	1,92

Il peso dei massi della berma è risultato sempre tra 1.000 e 3.000 kg. La berma presenta pertanto uno spessore pari a 2 metri ed una larghezza pari a 3 metri per l'intero sviluppo della diga.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	40 Di <i>of</i> 47

3.6 NUCLEO

Il nucleo è la parte più interna delle opere a gettata, sottratta quasi integralmente alle azioni del moto ondoso, tranne che nelle fasi transitorie di esecuzione.

Il nucleo deve essere costituito da tout-venant di cava (5÷100kg).

Le dimensioni del nucleo sono state fissate in base a considerazioni costruttive e funzionali dell'opera di protezione. La sommità del nucleo è fissata a quota -1,2m s.l.m.m., per il tratto di diga caratterizzata da una quota di sommità di 4,70m s.l.m.m., e si innalza a -0,5 m s.l.m.m. per il restante tratto di diga che raggiunge una quota di sommità di 5,70 m s.l.m.m.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data/Date Febbraio 2014
RELAZIONE TECNICA			Pagina Page 41 Di of 47

4. VERIFICA DI RUN-UP

Al momento del frangimento, una parte del moto oscillatorio delle onde incidenti è convertita dal processo di rottura in una traslazione in avanti della massa d'acqua. Ciò comporta la formazione di un flusso idrico che "risale" il paramento esterno di una struttura costiera. Si tratta del noto fenomeno del run-up, definito come massima elevazione verticale rispetto al livello marino in quiete (SWL) raggiunta dall'acqua durante la sua risalita.

In letteratura esistono differenti formule di natura empirica per il calcolo di tale grandezza, tutte comunque in genere dipendenti dal parametro di frangimento, altrimenti noto come surf similarity parameter o numero di Iribarren ξ_m . Quest'ultimo è un numero adimensionale che permette di prevedere, in base ad un confronto tra ripidità d'onda incidente e pendenza del paramento lato mare della struttura, il tipo di frangimento che si genererà in corrispondenza all'opera di difesa.

Il numero di Iribarren è definito dalla seguente relazione:

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_m^2}}} \quad (12)$$

H_s = altezza d'onda significativa in corrispondenza della struttura;

T_m = periodo d'onda medio;

α = pendenza della mantellata.

All'aumentare del valore assunto da tale parametro si possono distinguere quattro diversi tipi di frangimento: *spilling*, *plunging*, *collapsing*, e *surgling*, che corrispondono a scarpate via via più ripide.

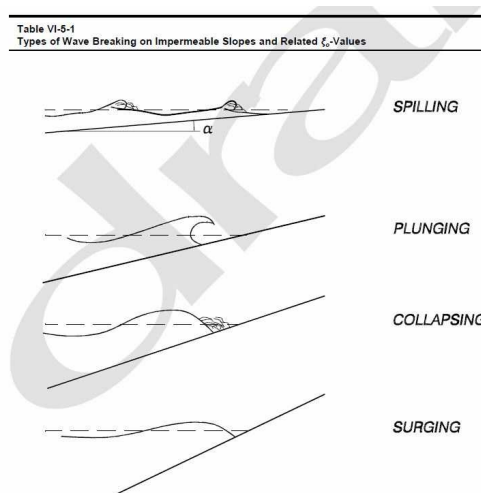


Figura 9 Tipologie di frangimento

La stima della risalita dell'onda R può essere effettuata attraverso il diagramma sperimentale di Saville, valido per scarpate naturali e artificiali (Figura 10); i dati di input sono la pendenza dell'onda al largo H_0/L_0 e la pendenza del paramento esterno. Il valore così ottenuto deve essere corretto attraverso il coefficiente r (Figura 11) per tenere conto della scabrezza della scarpata.

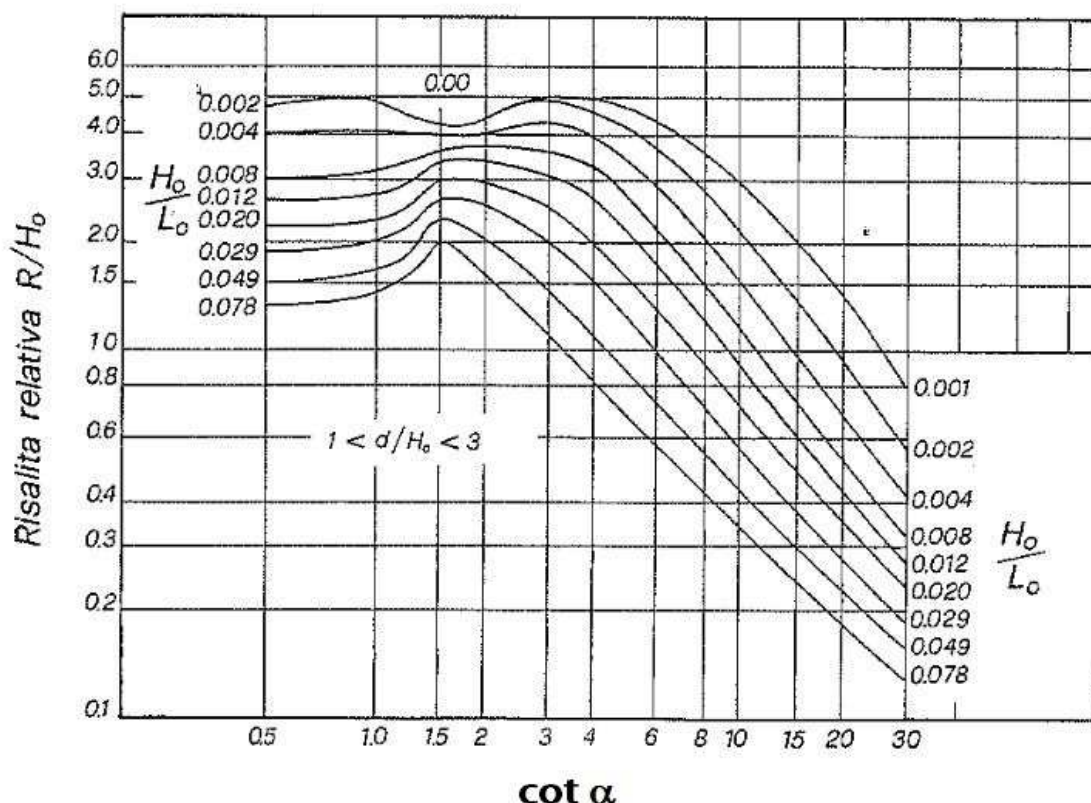


Figura 10 Diagramma di Saville per valutare la risalita dell'onda sulla scarpata

TIPO DI RIVESTIMENTO	r
lastre di calcestruzzo	0,9
blocchi "opus incertum"	0,85÷0,90
tappeto erboso	0,85÷0,90
scogliera su base impermeabile	0,8
massi naturali lastricati	0,76÷0,80
massi tondeggianti	0,60÷0,65
due o più strati di scogliera alla rinfusa	0,5
massi artificiali (tetrapodi, ecc.)	0,5

Figura 11 Coefficiente correttivo che tiene conto della scabrezza

Sulla base dell'entità della risalita dell'onda lungo la scarpata, è possibile ipotizzare una quota di sommità della scogliera, eventualmente incrementabile in base ai requisiti cui deve rispondere l'opera in progetto, e calcolare la portata di tracimazione con le formule proposte in letteratura.

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data/Date Febbraio 2014
RELAZIONE TECNICA		Pagina <i>Page</i> 43	Di <i>of</i> 47

Nel caso in esame la portata di tracimazione è stata stimata con le relazioni proposte da Van Der Meer and Janssen (1995) che forniscono due diverse formule per il calcolo della stima della portata di tracimazione al variare del parametro ξ_{op} ;

$$\text{per } \xi_{op} < 2 \quad q = 0,06 \cdot \gamma_b \cdot \sqrt{gH_s^3} \sqrt{\frac{\tan\alpha}{\frac{H_s}{L_0}}} \exp\left(-4,7 \frac{R_c}{H_s} \frac{\sqrt{\frac{H_s}{L_0}}}{\tan\alpha} \cdot \frac{1}{\gamma_b \gamma_v \gamma_f \gamma_\theta}\right) \quad (13)$$

$$\text{per } \xi_{op} > 2 \quad q = 0,2 \cdot \sqrt{gH_s^3} \exp\left(-2,3 \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\theta}\right) \quad (14)$$

dove:

γ_b = coefficiente adimensionalizzato che tiene conto della dipendenza dei valori di run-up dalla presenza di un'eventuale berma sul fondale antistante la struttura

γ_v = coefficiente adimensionalizzato che tiene conto della dipendenza dei valori di run-up dalla presenza di un muro verticale in sommità


γ_f = coefficiente adimensionalizzato che tiene conto della dipendenza dei valori di run-up dalla scabrezza degli elementi costruttivi sul paramento lato mare

γ_θ = coefficiente adimensionalizzato che tiene conto della dipendenza dei valori di run-up dall'inclinazione con cui raggi d'onda incidenti arrivano sulla barriera

In particolare, nell'ambito del progetto di ricerca europeo CLASH (Crest Level Assessment of coastal Structures by full scale monitoring, neural network prediction and Hazard analysis on permissible wave overtopping) sono state condotte una serie di indagini sperimentali per ricavare i fattori di rugosità per differenti tipologie di materiali impiegati nella mantellata di un frangiflutti permeabile. In Tabella 21 si riportano i coefficienti di scabrezza ottenuti.

Tabella 21 Valori del fattore di rugosità γ_f per scogliere a gettata

TYPE OF ARMOUR LAYER	γ_f
Smooth impermeable surface	1,00
Rocks (1 layer, impermeable core)	0,60
Rocks (1 layer, permeable core)	0,45
Rocks (2 layer, impermeable core)	0,55

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data/Date Febbraio 2014
RELAZIONE TECNICA		Pagina Page 44	Di of 47

TYPE OF ARMOUR LAYER	γ_f
Rocks (2 layer, permeable core)	0,40
Cubes (1 layer, random position)	0,50
Cubes (2 layer, random position)	0,47
Antifer	0,47
HARO's	0,47
Accopode™	0,46
Xbloc®	0,45
CORE-LOC®	0,44
Tetrapods	0,38
Dolosse	0,43

Nelle verifiche di run-up, nelle sezioni analizzate, l'onda è risultata frangente di tipo surging.

I valori dei coefficienti moltiplicativi utilizzati nelle formule per il calcolo della portata di tracimazione sono : $\gamma_b=0,8$, $\gamma_v=1$, $\gamma_f=0,38$ e $\gamma_\theta=1$.

Imponendo una quota minima di sommità della scogliera pari a +4,70 m s.l.m.m. e massima pari a 5,70 m s.l.m.m, mediante le relazioni proposte da Van Der Meer and Janssen (1995), si è stimata una portata di tracimazione dell'ordine di 0,1 l/s per metro lineare di scogliera, perfettamente in linea con la destinazione d'uso dell'opera, come dimostrato dalla Figura 12.

Infine, mediante il modello fisico in canale, è stato possibile determinare i valori della portata media di tracimazione per le due sezioni di prova (sez. 250 e sez. 430), riprodotte nelle diverse varianti progettuali ipotizzate. Nella tabella sottostante sono riportati unicamente i valori di portata di overtopping per le versioni definitive assunte per le due sezioni.

Tabella 22 Valori della portata di tracimazione per le sezioni 430 e 250 nella versione definitiva

MOTO ONDOSI	SEZIONE 430	SEZIONE 250
Moto ondoso di progetto maggiorato del 10% Hs=3,8m Tp=10,7s	6×10^{-2} l/s/m	8×10^{-1} l/s/m

Per i valori di portata di tracimazione delle altre varianti dimensionali delle sezioni riprodotte in laboratorio si rimanda all'allegato "Rapporto Finale".

**Table VI-5-6
Critical Values of Average Overtopping Discharges**

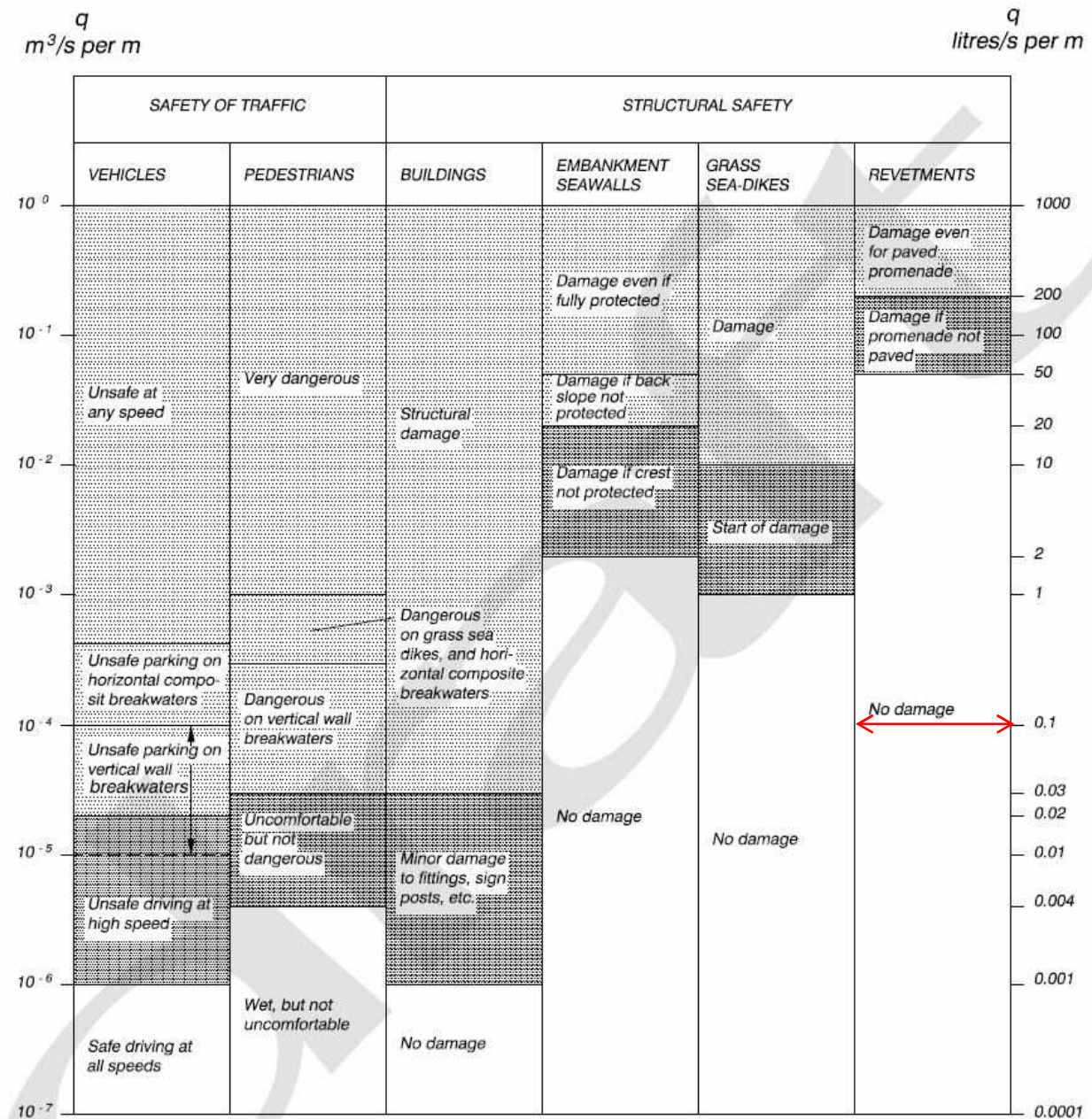


Figura 12 Valori critici della portata di tracimazione - Coastal Engineering Manual

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data/Date Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	Pagina <i>Page</i>	46 Di <i>of</i> 47

5. CONCLUSIONI

Le analisi e gli studi condotti hanno consentito di dimensionare i vari elementi costituenti il tratto di ponente della nuova diga foranea del Porto di Taranto.

A seguito dell'inquadramento geologico-geotecnico e delle indagini geognostiche condotte è stato effettuato un attento posizionamento planimetrico della scogliera, al fine di garantire la fattibilità tecnica dell'opera in accordo con le somme a disposizione.

Per il dimensionamento della diga si è fatto riferimento ad un periodo di ritorno dell' onda pari a 100 anni, scelta piuttosto cautelativa per un'opera foranea a gettata. L'altezza d'onda significativa al largo, corrispondente a tale scelta effettuata, è pari a 6,16m. Il successivo trasferimento dell'onda sotto costa con il modello SW del MIKE 21 ha determinato un'altezza d'onda significativa in prossimità della diga pari a 3,42m.

Il dimensionamento idraulico dell'opera ha portato ad una scogliera così costituita:

- il paramento esterno realizzato in tetrapodi da 16 t quasi per l'intero sviluppo della diga, ad eccezione della testata Nord-Occidentale, realizzata invece in tetrapodi da 20 t, in quanto maggiormente sollecitata dai moti ondosi;
- il paramento interno realizzato in massi naturali di IV categoria, ossia di peso compreso tra 7 e 10 t, tra la sezione +120,00m e la sezione +400,00m e di impiegare tetrapodi da 16 t tra la sezione +410,00m e la sezione +480,00m.

La verifica di run-up, al fine di garantire che la quota minima della cresta sia sufficiente a contrastare il fenomeno della tracimazione della diga, risulta ampiamente soddisfatta.

Le prove su modello fisico che sono state condotte in laboratorio, i cui risultati sono allegati di seguito, confermano ampiamente le scelte progettuali effettuate.

Roma, Febbraio 2014

Il Progettista Responsabile
Dott. Ing. Michelangelo Lentini

	RIQUALIFICAZIONE DEL MOLO POLISETTORIALE NUOVA DIGA FORANEA DI PROTEZIONE DEL PORTO FUORI RADA DI TARANTO TRATTO DI PONENTE	Documento <i>Document</i> 0130TAR03109-01-R08	
	PROGETTO DEFINITIVO	<i>Data/Date</i> Febbraio 2014	
	RELAZIONE TECNICA	<i>Pagina Page</i>	47 <i>Di of</i> 47

ALLEGATO 1 – RAPPORTO FINALE

Università del Salento

RAPPORTO DI
RICERCA

Dipartimento di Ingegneria della
Innovazione



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

Centro di Ricerca Applicata
alla Ingegneria Marina

S.J.S. Engineering s.r.l.

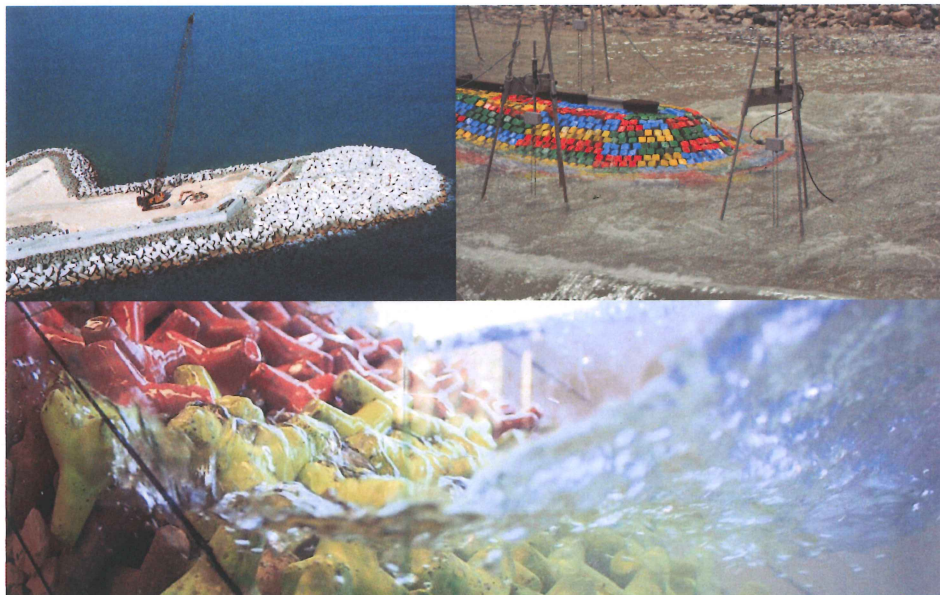
TARANTO

S.S. 106 Molo Polisettoriale, 74123



Prove idrauliche su modelli fisici a supporto della progettazione della nuova diga foranea nel Porto di Taranto

Rapporto finale



Responsabile scientifico
prof. ing. Felice D'Alessandro

Gennaio 2014

Indice

1. Premessa	1
2. Moti ondosi e livelli del medio mare	3
3. Caratteristiche delle sezioni fornite dal Committente	4
4. Strumentazione del laboratorio	6
5. Scelta del fattore di scala	8
6. Procedura per garantire la similitudine con il prototipo nel decadimento delle sovrapressioni indotte dal moto ondoso nella propagazione attraverso il nucleo	9
7. Materiali costituenti il modello della diga a scogliera	11
7.1 Mantellata della diga foranea	11
7.2 Filtro della diga foranea	11
7.3 Nucleo della diga foranea	12
8. Costruzione del modello della diga a scogliera	13
9. Strumentazione della sezione di misura	19
10. Selezione degli attacchi ondosi	20
11. Misure di tracimazione	22
12. Stabilità degli elementi della mantellata al tronco diga	23
13. Sintesi dei risultati	33

Indice delle Figure

Figura 1: Prima sezione di prova; sezione alla progressiva 430m	5
Figura 2: Seconda sezione di prova; sezione alla progressiva 250m	5
Figura 3: Terza sezione di prova; sezione alla progressiva 250m ma con quota della cresta a 4.70m	5
Figura 4: Il canale del Coastlab – Laboratorio di Ingegneria Marittima del DICEA	6
Figura 5: Visione frontale della parte meccanica del generatore di moto ondoso	6
Figura 6: Sensori per la misura dei moti ondosi; a sinistra una sonda resistiva, a destra una sonda ad ultrasuoni	7
Figura 7: Campionatore delle portate di overtopping	7
Figura 8: Localizzazione dei punti della velocità di filtrazione del nucleo	9
Figura 9: Tetrapodi utilizzati per la realizzazione della mantellata	11
Figura 10: Analisi granulometrica per il materiale costituente il filtro [mm in scala modello] ..	11
Figura 11: Analisi granulometrica per il materiale costituente il nucleo [mm in scala modello]	12
Figura 12: Fasi della costruzione in canale della diga di sopraflutto	14
Figura 13 (a): Immagine del modello realizzato: sezione 430	15
Figura 13 (b): Immagine del modello realizzato: sezione 250	16
Figura 14 (a): Immagine del modello realizzato: sezione “250-prima variante”	17
Figura 14 (b): Immagine del modello realizzato: sezione “250-seconda variante	18

Indice delle Tabelle

Tabella 1: Parametri caratteristici dei moti ondosi di prova forniti dal Committente; i valori si riferiscono ai fondali di 10m antistanti l'opera	3
Tabella 2: Scale di riduzione utilizzate nel modello	8
Tabella 3: Profilo del fondale antistante l'opera ricostruito in canale; per la sezione 430 è stato imposto un fondale al piede lato mare di 10m e per le sezioni 250 e 250 prima e seconda variante un fondale di 8.0m	13
Tabella 4: Ricerca onde di prova; *valori medi \pm errore assoluto su 8 generazioni da 133 minuti ciascuna (con la sezione 430 in canale, con fondale al piede 10m)	20
Tabella 5: Ricerca onde di prova; *valori medi \pm errore assoluto; per il calcolo dei parametri inerenti al moto ondoso 1 sono state utilizzate 24 generazioni da 133 minuti, delle quali 8 riprodotte con la sezione 250, 8 con la sezione "250-prima variante" e 8 con la sezione "250-seconda variante"; per il moto ondoso 2 sono state utilizzate le 8 generazioni da 133 minuti per le prove per la sezione 250 poichè tale moto ondoso non è stato riprodotto per le sezioni "250-prima variante" e "250-seconda variante"	20
Tabella 6: Esempio di moti ondosi generati e relativi spettri in frequenza (scala del modello)	21
Tabella 7: Misure di overtopping	22
Tabella 8: Foto della mantellata lato mare della sezione 430 prima e dopo il moto ondoso 1 (parametri significativi sui fondali di 10m; $H_s=3.8m$, $T_p=10.7s$).....	25
Tabella 9: Foto della mantellata lato mare della sezione 430 prima e dopo il moto ondoso 2 (parametri significativi sui fondali di 10m; $H_s=5.3m$, $T_p=12.0s$)	26
Tabella 10: Foto della mantellata lato mare della sezione 250 prima e dopo il moto ondoso 1 (parametri significativi sui fondali di 10m; $H_s=3.8m$, $T_p=10.7s$)	27
Tabella 11: Foto della mantellata lato mare della sezione 250 prima e dopo il moto ondoso 2 (parametri significativi sui fondali di 10m; $H_s=5.3m$, $T_p=12.0s$)	28
Tabella 12: Foto della mantellata lato terra della sezione 250 prima e dopo attacchi d'onda con il moto ondoso 1 e poi il moto ondoso 2. Queste prove non erano finalizzate alla verifica della stabilità della mantellata lato mare e quindi sono state condotte in presenza dell'apparato per la misura dell'overtopping. Sono comunque state utili per mettere in luce qualitativamente i fenomeni di instabilità. Non si tenga conto dello spostamento del tetrapodo visibile nell'immagine a destra perchè questo era stato spostato manualmente per permettere l'istallazione dello scivolo di presa delle portate di overtopping	29
Tabella 13: Foto della mantellata lato terra della sezione 250 prima e dopo il moto ondoso di progetto detto moto ondoso 1 (parametri significativi sui fondali di 10m;	

Hs=3.8m, Tp=10.7s)	30
Tabella 14: Foto della mantellata lato terra della sezione "250-prima variante" (mantellata in massi naturali da 3-7 t) prima e dopo il moto ondoso di progetto detto moto ondoso 1 (parametri significativi sui fondali di 10m; Hs=3.8m, Tp=10.7s)	31
Tabella 15: Foto della mantellata lato terra della sezione "250-seconda variante" (mantellata con massi naturali da 7-10t) prima e dopo il moto ondoso di progetto detto moto ondoso 1 (parametri significativi sui fondali di 10m; Hs=3.8m, Tp=10.7s)	32

1. Premessa

Il Dipartimento di Ingegneria della Innovazione dell'Università del Salento (nel seguito detto Dipartimento) è stato incaricato, dalla società di ingegneria S.J.S. Engineering s.r.l. con sede legale in Roma e sede operativa in Taranto (nel seguito detto Committente), di eseguire uno studio idraulico sperimentale, su modello fisico testato in canale marittimo, finalizzato alla verifica della stabilità degli elementi della mantellata (massi artificiali del tipo tetrapodi) e dei livelli di tracimazione inerenti ad una diga a scogliera in progetto per il Porto di Taranto.

In data 5/11/2013 è stato sottoscritto il contratto di ricerca tra Dipartimento e Committente nel cui allegato tecnico elenca le attività previste e i prodotti della ricerca da fornire.

L'oggetto del contratto di ricerca è: "Modellazione fisica della nuova diga foranea nel Porto di Taranto".

Il Dipartimento ha indicato il prof. ing. Felice D'Alessandro quale Responsabile Scientifico del contratto di ricerca.

Il Dipartimento non avendo la disponibilità di un canale marittimo per modelli idraulici si è avvalso del personale tecnico e della installazione di ricerca del Laboratorio di Ingegneria Marittima del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze (nel seguito detto Laboratorio). Le prove di laboratorio sono state effettuate a partire da metà del mese di ottobre 2013 e sino a tutto il mese di novembre 2013.

Nel presente rapporto di ricerca si descrive la progettazione, la costruzione del modello, la messa a punto dell'apparecchiatura sperimentale, le prove condotte e i risultati ottenuti. L'impostazione metodologica dello studio finora condotto è sinteticamente riassunta nelle fasi seguenti:

1. approvvigionamento dei materiali, costruzione delle strutture costituenti le sezioni da testare, quali principalmente: nucleo, strato filtro, tetrapodi costituenti la mantellata;
2. costruzione del modello dei fondali e dell'opera e posizionamento nel canale marittimo;
3. strumentazione di misura per la verifica sperimentale della stabilità e delle tracimazioni;
4. prove preliminari per la verifica dell'apparecchiatura sperimentale e per la redazione della *check-list* sperimentale definitiva;
5. conduzione delle misure sperimentali relative alla definizione degli attacchi ondosi riproducenti le caratteristiche richieste dal committente;
6. riunione con il Committente del 14-11-13 per la finale definizione delle condizioni di prova;
7. conduzione delle misure sperimentali relative agli attacchi ondosi definitivi propagati su un mare con sovrizzo di progetto (+0.50cm) per la prima sezione in esame;
8. conduzione delle misure sperimentali relative agli attacchi ondosi definitivi propagati su un mare con sovrizzo di progetto (+0.50cm) per la seconda sezione in esame;
9. analisi preliminare dei dati;
10. scrittura del rapporto preliminare di descrizione delle prove condotte (5-12-13);
11. richiesta del Committente di ulteriori prove sperimentali (9-12-13);
12. conduzione delle ulteriori prove richieste;

13. incontro con progettisti di S.J.S. engineering s.r.l. presso la loro sede di Taranto (14-01-14);
 14. presente rapporto finale.

La cronologia è così riassumibile:

- Il committente ha fornito lo studio meteo marino e di propagazione del moto ondoso (oggetto dei chiarimenti in data 14-11-13).
- Conduzione delle prime prove con onda al piede assunta dallo studio di propagazione del moto ondoso trasmesso dal Committente e che è stato oggetto di chiarimento nel corso della riunione del 14-11-13.
- In data 13-11-13 è stato consegnato al Committente un primo rapporto inerente alle prime 5 fasi dell'elenco.
- In data 14-11-13 si è tenuta, presso il Laboratorio, una riunione alla presenza del Committente e degli Ingg. Maria Pia Fischetto e Maria Santoro della S.J.S. Engineering s.r.l.

Nel corso della riunione del 14-11-13, a seguito dei primi risultati delle prove sperimentali allora disponibili e preso atto di chiarimenti necessari in merito ai moti ondosi e alle strutture, i convenuti hanno fornito al Laboratorio approfondimenti sui report precedenti inviati da S.J.S. al Dipartimento ed è stato quindi possibile definire senza incertezze le condizioni finali delle prove da condurre in merito a:

- i) sezioni da testare;
- ii) peso dei tetrapodi della mantellata;
- iii) moti ondosi di prova.

I dati finali sono stati trasmessi dall'Ing. Fischetto con messaggi e.mail del 15-11-13 e del 17-11-13.

- Nel messaggio e.mail del 15-11-13, i tecnici della S.J.S. Engineering S.r.l. inviavano il dato di densità della mantellata di tetrapodi da 16t a doppio strato pari a 36 unità su 100mq. Nella fase di montaggio del modello è risultato fisicamente impossibile raggiungere tale grado di densità ragione per cui la mantellata è stata realizzata con il massimo grado di densità possibile pari a 30 unità su 100mq corrispondente a circa il 50% del volume della mantellata; Si osserva che tale valore risulta essere in linea anche con il valore desumibile dalla letteratura tecnica specifica (e.g. http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/EM_1110-2-1100_vol/PartVI/cem-vi-5.pdf).
- Le nuove condizioni di prova fornite a mezzo posta elettronica il 17-11-13 hanno richiesto il completo rifacimento del modello fino ad allora realizzato. In particolare, è stato necessario cambiare la scala dei modelli da 1:47 a 1:44, è stato rifatto completamente il modello fisico in canale ed è stata ripetuta la fase di definizione degli attacchi ondosi di prova.
- Dopo la conduzione delle prove sopra descritte è stata redatta una prima bozza di redazione preliminare, consegnata al Committente il 5-12-13. Nella relazione si metteva in evidenza, tra le altre cose, che nel caso della sezione 250 i massi di armatura lato terra non erano stabili sotto l'azione del moto ondoso più intenso adottato (Moto Ondoso 2, vedi Tabella 1).
- Con e.mail del 9-12-13 il Committente ha richiesto al Laboratorio di testare, con il solo moto ondoso 1 (vedi Tabella 1) due ulteriori varianti della sezione detta 250 cambiando il livello della cresta da 5.40m sul l.m.m. a 4.70m sul l.m.m. e prevedendo per la prima variante massi da 3-7 t per la mantellata lato terra e per l'altra variante massi da 7-10t.

Il presente rapporto finale è descrittivo di tutta l'attività sperimentale condotta e sostituisce totalmente gli scritti consegnati in precedenza. Al termine di questo studio si consegna quindi:

1. la presente relazione tecnica in versione PDF;
2. i filmati delle prove condotte in formato DVX.

2. Moti ondosi e livelli del medio mare

Il moto ondoso di progetto, relativo al periodo di ritorno $T_R = 100$ anni, (nel seguito detto MOTO ONDOSO 1), fornito dal Committente, è caratterizzato dai parametri caratteristici d'onda, sui fondali di 10m antistanti l'opera, pari a $H_s=3.42\text{m}$ e $T_p=10.7\text{s}$.

Come concordato con il Committente, l'altezza d'onda è stata maggiorata del 10% e risulta quindi pari a $H_s=3.8\text{m}$.

Oltre al moto ondoso di progetto è stato concordato di adottare anche un secondo moto ondoso di intensità maggiore (nel seguito detto MOTO ONDOSO 2) con parametri caratteristici, sempre riferiti ai fondali di 10m antistanti l'opera, pari a $H_s=5.3\text{m}$ e $T_p=12.0\text{s}$. I dati sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1: Parametri caratteristici dei moti ondosi di prova forniti dal Committente; i valori si riferiscono ai fondali di 10m antistanti l'opera

Moto ondoso	Hs [m] Altezza significativa del moto ondoso	Tp [s] Periodo di picco del moto ondoso
MOTO ONDOSO 1	3.8	10.7
MOTO ONDOSO 2	5.3	12.0

I moti ondosi sono stati riprodotti secondo uno spettro in frequenza del tipo JONSWAP con fattore di elevazione del picco pari a 3.3.

Nelle condizioni di prova il livello del mare è caratterizzato da un sovrizzo pari a +0.5m rispetto al livello medio mare riportato nelle tavole grafiche fornite dal Committente.

3. Caratteristiche delle sezioni fornite dal Committente

Le sezioni dell'opera fornite dal Committente, da testare nelle prove sperimentali oggetto del presente studio, sono relative alle progressive 430m (Figura 1) e 250m (Figura 2) misurate lungo lo sviluppo longitudinale della struttura in progetto. Nel caso della sezione 250 è stato richiesto di provare tre varianti. Le sezioni provate risultano quindi come di seguito elencate:

- 1) sezione 430;
- 2) sezione 250;
- 3) sezione 250-prima variante;
- 4) sezione 250-seconda variante.

La sezione 430 presenta un fondale al piede lato mare di 10m, una mantellata lato mare e lato terra composta da 2 strati di tetrapodi da 16t e posti in opera con scarpa 2/3 per un totale di 30 unità ogni 100mq, uno spessore di strato 3.9m; quota della berma della struttura posta a +5.4m; berma stabilizzante al piede lato mare in massi naturali da 1.000÷3.000 kg di larghezza in testa pari a 3.0m; berma stabilizzante al piede lato terra in massi naturali da 1.000÷3.000 kg di larghezza pari a 3.0m; filtro composto da massi naturali da 1.000÷3.000 kg, per uno spessore di 2.2 m, posti in opera con scarpa 2/3; un nucleo composto da tout-venant da 5÷150 kg, posto in opera con scarpa 2/3.

La sezione 250 presenta un fondale al piede lato mare di 8m, una mantellata lato mare composta da 2 strati di tetrapodi da 16t e posti in opera con scarpa 2/3 per un totale di 30 unità ogni 100mq, uno spessore di strato 3.9m; una mantellata lato terra composta da 2 strati di massi naturali da 3.000÷7000 kg e posti in opera con scarpa 2/3; quota della berma della struttura posta a +5.4m; berma stabilizzante al piede lato mare in massi naturali da 1.000÷3.000 kg di larghezza in testa pari a 3.0m; berma stabilizzante al piede lato terra in massi naturali da 100÷1.000 kg di larghezza pari a 1.8m; filtro composto da massi naturali da 1.000÷3.000 kg lato mare e 100÷1.000kg lato terra, per uno spessore di 2.0 m, posti in opera con scarpa 2/3; un nucleo composto da tout-venant da 5÷150 kg, posto in opera con scarpa 2/3.

La Sezione "250-prima variante" presenta tutte le stesse caratteristiche tipologiche della sezione 250 ad eccezione della quota della cresta che passa da 5.40m sul l.m.m. a 4.70 m sul l.m.m.

La Sezione "250-seconda variante" presenta tutte le stesse caratteristiche tipologiche della "250-prima variante" ad eccezione della pezzatura dei massi naturali dell'armatura lato terra che passa da 3-7 t a 7-10t.

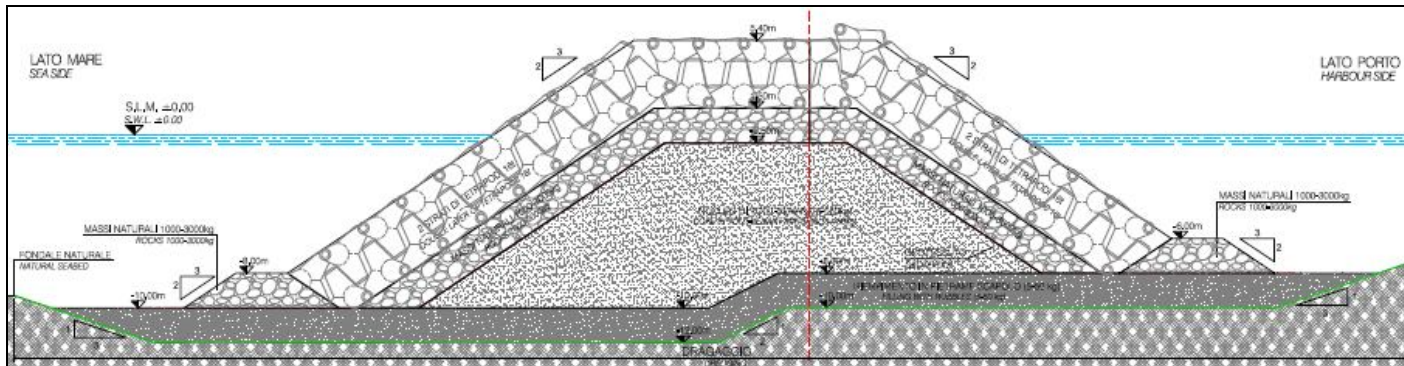


Figura 1: Prima sezione di prova; sezione alla progressiva 430m

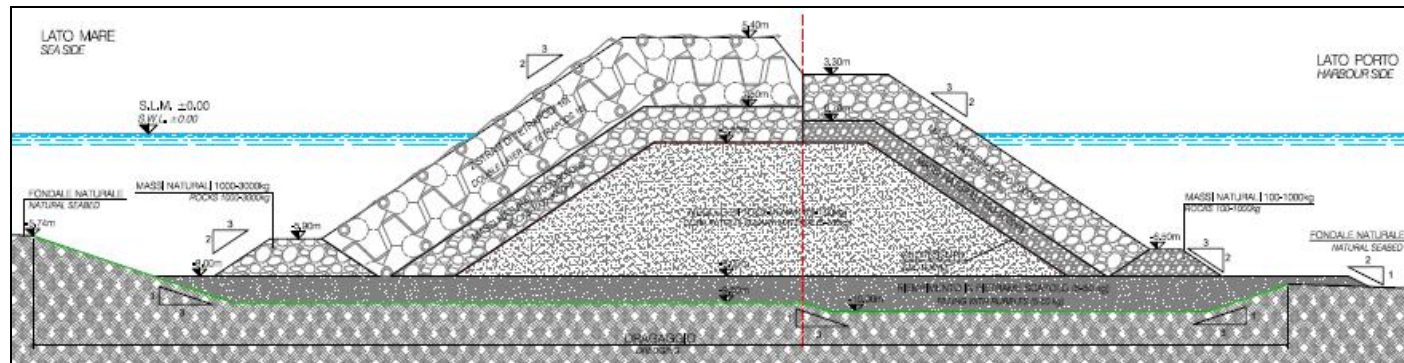


Figura 2: Seconda sezione di prova; sezione alla progressiva 250m

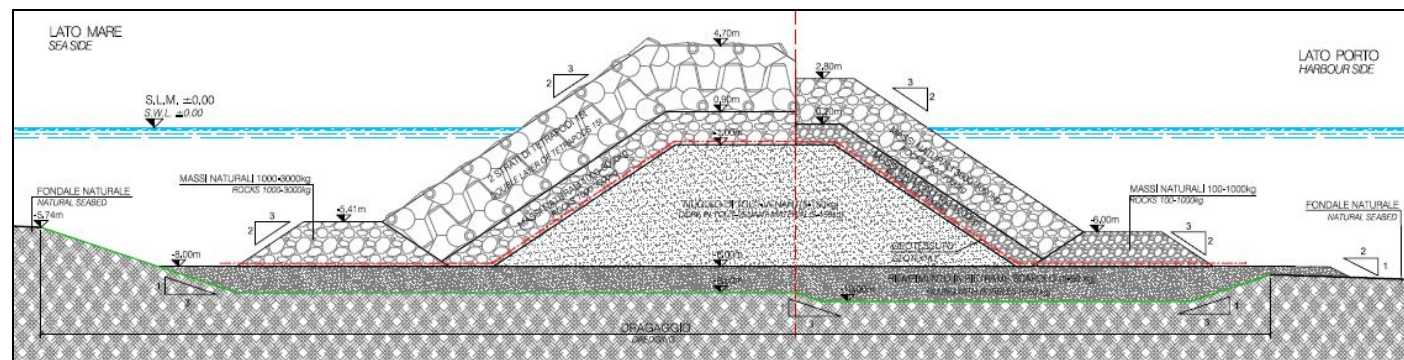


Figura 3: Terza sezione di prova; sezione alla progressiva 250m ma con quota della cresta a 4.70m

4. Strumentazione del laboratorio

Lo studio sperimentale è stato effettuato presso il CoastLab - Laboratorio di Ingegneria Marittima del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Firenze (Figura 4).

I modelli fisici in scala ridotta della diga a scogliera sono stati realizzati in un canale marittimo lungo 36 m, largo 0.80 m e profondo 0.80 m.



Figura 4: Il canale del CoastLab - Laboratorio di Ingegneria Marittima del DICEA

Il canale è dotato di un sistema di generazione del moto ondoso composto da una pala con stroke pari a 1600mm azionata da un sistema elettromeccanico ad elevatissima precisione (0.1mm in posizione). Il moto della pala è comandato da una elettronica di ultima generazione (con standard di comunicazione Fast Etercat) che esegue i segnali di comando inviati da un computer per la gestione di software di generazione e analisi (Figura 5). Tutta la strumentazione hardware, firmware e software è stata completamente sviluppata presso il Laboratorio e si basa su componentistica meccanica, elettrica ed elettronica di ultima generazione.



Figura 5: Visione frontale della parte meccanica del generatore di moto ondoso

La generazione del segnale di guida del battionda, in grado di riprodurre in canale i moti ondosi aventi caratteristiche spettrali volute, avviene mediante un software basato sulla tecnica spettrale detta *deterministic spectral amplitudes and random phases* (Hughes 2006). Il segnale viene

inviato al sistema di controllo della pala e attraverso il posizionamento di sonde lungo il canale, viene eseguita l'acquisizione in tempo reale del moto ondoso. Il sistema permette di generare onde sinusoidali, con periodo e altezza assegnata, onde focalizzanti per breaking in acque alte e stati di mare *random* con spettro di energia uguale alle onde reali (e.g. Jonswap, Pierson-Moskowitz, Scott, Neuman, Bretschneider, Ochi-Hubble). Il segnale *random* generato può essere memorizzato e riutilizzato per riprodurre più di una volta lo stesso stato di mare; una volta acquisito, il segnale viene analizzato sia nel dominio della frequenza (analisi spettrale) che nel dominio del tempo (analisi *zero-crossing*) per ottenere tutti i parametri caratteristici d'onda tra i quali: H_{m0} , $H_{1/3}$, $H_{1/10}$, H_{max} , H_{rms} , T_m , $T_{1/3}$, T_p , $T_{m0,-1}$, $T_{m-1,0}$.

I sensori di livello utilizzati per le misure del moto ondoso sono del tipo resistivo e del tipo ad ultrasuoni (Figura 6); la calibrazione delle sonde è verificata quotidianamente prima dell'inizio delle prove, tramite taratura delle stesse. Gli strumenti acquisiscono il livello della superficie libera con precisione nominale rispettivamente pari a 0.1mm e 1mm.



Figura 6: sensori per la misura dei moti ondosi; a sinistra una sonda resistiva a destra una sonda ad ultrasuoni

La portata media di tracimazione a tergo dell'opera viene misurata raccogliendo i volumi mediante un apposito recipiente campionario (Figura 7) e successivamente pesati con bilancia di accuratezza 0.1g.



Figura 7: Campionatore delle portate di overtopping

5. Scelta del fattore di scala

Il modello fisico bidimensionale in canale è stato realizzato in similitudine di Froude. La scelta del fattore di scala è stata effettuata tenendo conto anche dei vincoli di Laboratorio, ed in particolare di quelli riguardanti la generazione del moto ondoso, infatti:

- il livello idrico massimo nel settore antistante il generatore è di circa 50 - 60 cm;
- l'altezza d'onda significativa massima che si può generare al battionde è di 18 cm, con periodo pari a 1-2 sec (massima assoluta circa 35 cm).
- I modelli dei tetrapodi, in parte già disponibili presso il Laboratorio, hanno un peso di circa 180g (100 unità su un totale necessario pari a circa 400 unità); per fare fronte alle necessità di estrema urgenza prospettate dal Committente, è stato necessario utilizzare gli elementi e le relative casseforme già pronte poiché non sarebbero stati disponibili i tempi tecnici per la realizzazione di nuove casseforme.

Inoltre sono stati fissati dal Committente alcuni vincoli di progetto (e.mail del 17-11-13 ing. Fischetto):

- l'onda significativa massima incidente su fondali di 10 m che deve essere simulata presenta un'altezza pari a circa 5.3m e un periodo di circa 12.0 s;
- Le due sezioni devono essere localizzate su fondali di 10 m (sezione 430) e 8m (sezione 250).

Considerando quindi i vincoli di laboratorio e di progetto, il fattore di scala ottimale per la costruzione del modello è stato individuato in 1:44. Tale valore rientra nel *range* delle linee guida date a livello internazionale per garantire misure tecnicamente ben rappresentative degli effettivi valori che si verificherebbero nel relativo prototipo.

Pertanto, è stata adottata una scala geometrica non distorta n_L ($n_L = \lambda_m / \lambda_p$, dove λ_m e λ_p sono rispettivamente le dimensioni lineari del modello e del prototipo) pari a:

$$n_L = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} = \frac{1}{44}$$

Di conseguenza la scala dei tempi, secondo Froude, $n_T = \frac{T_m}{T_p}$ e delle velocità $n_V = \frac{V_m}{V_p}$ risulta-

no pari a: $n_T = n_V = \sqrt{n_L} = \sqrt{\frac{1}{44}} = \frac{1}{6.6}$

In base all'analisi dimensionale, assumendo valida la similitudine di Froude, si deducono le relazioni di scala valide per le altre grandezze, che intervengono nel fenomeno studiato. Nella Tabella 2 vengono riportate le varie scale di riduzione adottate nel modello fisico.

Tabella 2: Scale di riduzione utilizzate nel modello

Grandezza	Dimensione	Scala di riduzione
Lunghezza	L	n_L
Altezza d'onda	L	$n_H = n_L$
Periodo	T	$n_T = n_L^{1/2}$
Velocità	L/T	$n_V = n_L^{1/2}$
Portata	L ³ /LT	$n_Q = n_L^{3/2}$
Forza (peso)	F	$n_P = n_L^3$

6. Procedura per garantire la similitudine con il prototipo nel decadimento delle sovrappressioni indotte dal moto ondoso nella propagazione attraverso il nucleo

Tenuto conto della necessità di simulare correttamente il fenomeno di moto di filtrazione attraverso il nucleo dell'opera, evitando l'influenza di possibili fenomeni di scala, il diametro caratteristico (d_{50}) del materiale costituente il nucleo è stato scelto in modo tale da riprodurre la velocità caratteristica di filtrazione in similitudine di Froude. Secondo il criterio proposto da Burcharth et al. (1999)¹ tale velocità può essere scelta come la velocità media in 6 punti (Figura 8). È importante notare che la velocità caratteristica di filtrazione è mediata rispetto al tempo (un periodo d'onda) e allo spazio (6 punti).

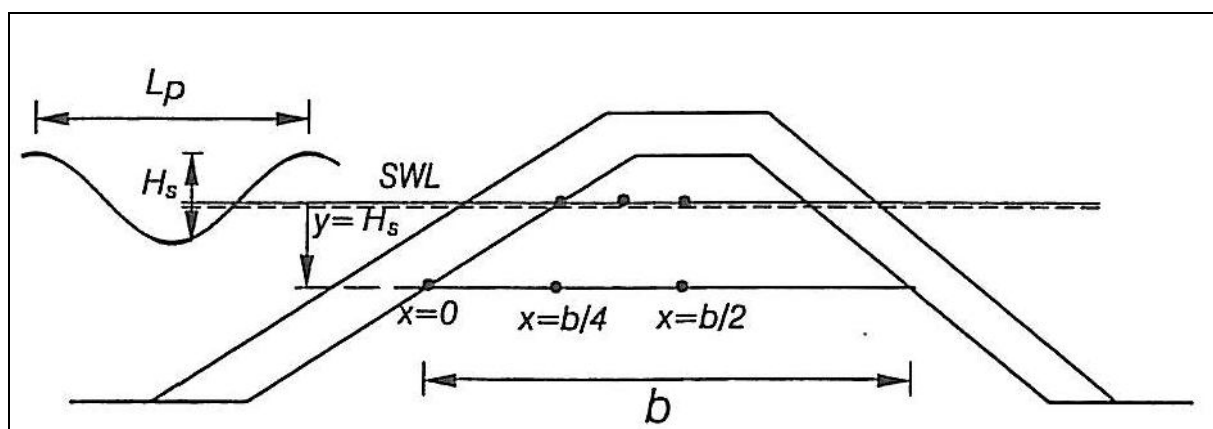


Figura 8: Localizzazione dei punti della velocità di filtrazione nel nucleo

Per la scelta del diametro medio del materiale costituente il nucleo del modello, con scala 1:44, si è calcolata la velocità caratteristica di filtrazione nel prototipo a partire dai dati seguenti:

NEL PROTOTIPO
$H_s=3.8$ m altezza significativa sui fondali antistanti il porto
$T_p=10.7$ s periodo
$L_p=87$ m lunghezza onda incidente
$d_{50}=0.40$ m diametro nominale del nucleo nel prototipo
$n=0.30$ porosità del nucleo nel prototipo

Attraverso le equazioni (1) e (2), di seguito riportate, sono state calcolate, rispettivamente, la pressione di riferimento $P_{0,max}$ all'interfaccia filtro-nucleo e il coefficiente di smorzamento δ .

¹ Burcharth, H. F., Z. Liu, and P. Troch (1999). Scaling of core material in rubble mound breakwater model tests. Proceedings of the 5th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC V), Cape Town, South Africa, pp. 1518-1528.

$$p_{0,max} = \rho_w g \frac{H_s}{2} \quad (1)$$

$$\delta = 0.0141 \frac{n^{1/2} L_p^2}{H_s b} \quad (2)$$

ove si indica con n la porosità del materiale del nucleo, L_p la lunghezza d'onda in prossimità della struttura, ρ_w la densità dell'acqua di mare e b la larghezza della diga.

Il gradiente di pressione e la velocità di filtrazione in punti differenti e in tempi differenti sono stati calcolati attraverso le equazioni (3) e (4).

$$I_x = \frac{1}{\rho g} \frac{dp(x,t)}{dx} = -\frac{\pi H_s}{L'} e^{-\delta \frac{2\pi}{L'} x} \left[\delta \cos\left(\frac{2\pi}{L'} x + \frac{2\pi}{T_p} t\right) + \sin\left(\frac{2\pi}{L'} x + \frac{2\pi}{T_p} t\right) \right] \quad (3)$$

$$I_x = \alpha \left(\frac{1-n}{n}\right)^2 \frac{\nu}{g d_{50}^2} \left(\frac{U}{n}\right) + \beta \frac{1-n}{n} \frac{1}{g d_{50}} \left(\frac{U}{n}\right)^2 \quad (4)$$

Per il prototipo della diga sono stati adottati i coefficienti $\alpha=0$ e $\beta=3.6$ secondo le indicazioni di Burcharth et al. (1995). La velocità di filtrazione caratteristica nel prototipo risulta pari a: $\bar{U}^p = 0.1$ m/s ed il numero di Reynolds, che è dato da $Re^p = (\bar{U}^p * d_{50}) / \nu$, risulta pari a circa 10^4 , giustificando così la scelta dei valori dei coefficienti α e β . In accordo con la legge di scala di Froude, la velocità caratteristica di filtrazione nel modello sarà data da:

$$\bar{U}^m = \bar{U}^p / \sqrt{44} = 0.0151 \text{ m/s} \quad (5)$$

Con il metodo iterativo è stato ricavato il valore del diametro caratteristico dei massi componenti il nucleo del modello in grado di rispettare la similitudine di Froude; tale valore risulta essere pari ad un diametro di $d_{50} = 0.015$ m, ovvero elementi da circa 11g. Il rapporto di scala da utilizzare per il materiale del nucleo sarà dato da: $d_{50}^m / d_{50}^p = 0.015/0.40 = 1:38$, che risulta essere più grande rispetto al rapporto 1:44 utilizzato per la scala delle lunghezze per le restanti parti del modello.

7. Materiali costituenti il modello della diga a scogliera

I materiali utilizzati per la riproduzione dei diversi strati costituenti la diga foranea sono stati selezionati in funzione dei rispettivi fattori di scala utilizzati.

7.1 Mantellata della diga

La mantellata è stata realizzata con tetrapodi del peso di 180g; per un rapporto di scala 1/44, ciascun tetrapodo rappresenta un elemento di peso 16 t, tenuto anche conto della correzione necessaria derivante dall'utilizzare nel modello acqua dolce piuttosto che acqua salata (Figura 9).

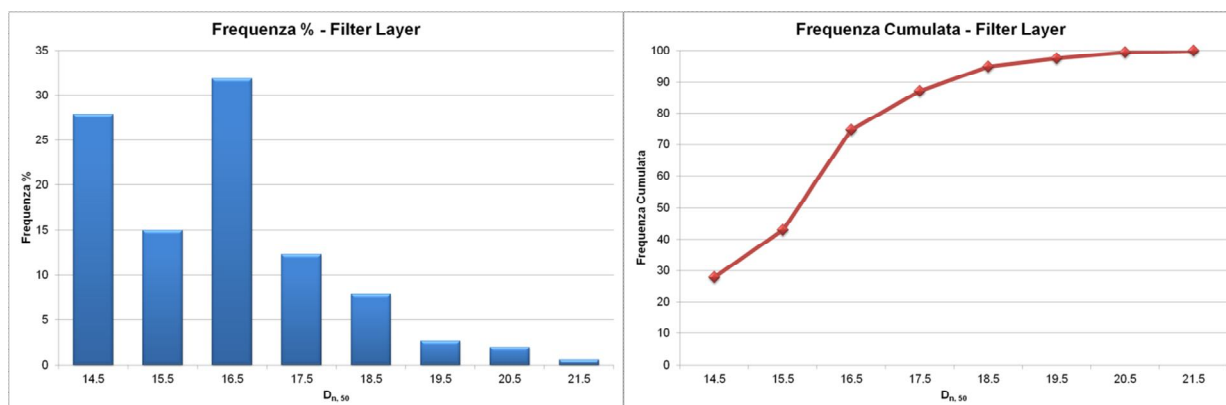


Figura 9: Tetrapodi utilizzati per la realizzazione della mantellata

7.2 Filtro della diga

Fattore di scala 1:44 → Il materiale selezionato ha peso compreso tra 14 e 25 gr, corrispondente a massi caratterizzati da D compreso tra 14 e 22 mm.

Di seguito si riportano i grafici relativi all'analisi granulometrica effettuata per un campione di circa 1000 massi (Figura 10).



7.3 Nucleo della diga

Fattore di scala 1:38 (per ridurre effetti di scala, vedi capitolo 5) → il materiale selezionato ha peso compreso tra 9 e 13 gr, corrispondente a massi caratterizzati da D compreso tra 15 ÷ 17 mm.

Di seguito si riportano i grafici relativi all'analisi granulometrica effettuata per un campione di circa 1000 massi scelti a caso tra quelli utilizzati (Figura 11).

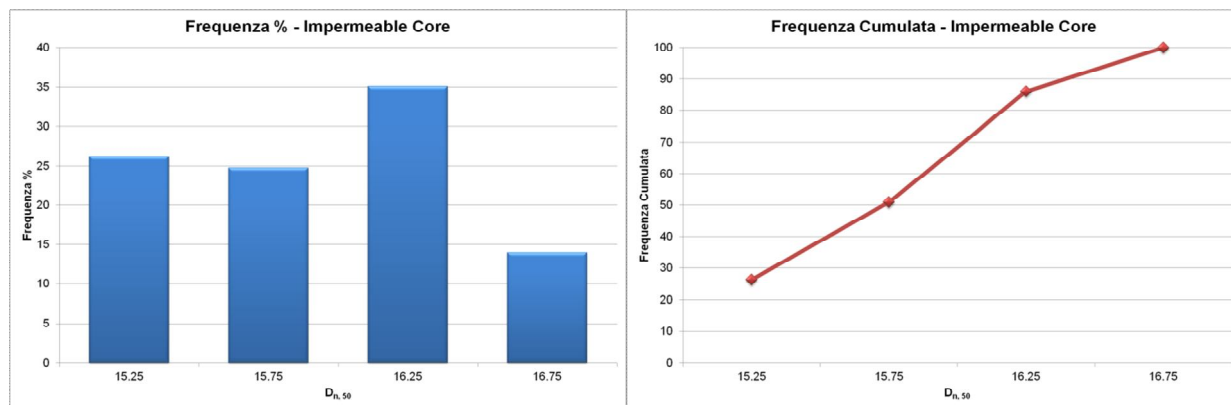


Figura 11: Analisi granulometrica per il materiale costituente il nucleo [mm in scala modello]

8. Costruzione del modello della diga a scogliera

Stabiliti i fattori di scala (1:38 per il nucleo e 1:44 per le restanti parti) e selezionato il materiale, si è proceduto alla costruzione del modello fisico in canale.

Per simulare nel modello le trasformazioni che l'onda subisce durante la sua propagazione verso la diga, in similitudine con il prototipo, è stata riprodotta una sezione di un profilo batimetrico, rappresentativo per l'opera in esame, esteso fino ad una distanza di circa 3 lunghezze d'onda dal piede della struttura. La pendenza del fondale antistante la diga è stata riprodotta fedelmente sulla scorta del rilievo batimetrico fornito dal Committente.

Si noti che i fondali antistanti l'opera sono marcatamente irregolari e con caratteristiche tridimensionali. La condizione di moto ondoso incidente fornita dal Committente (MOTO ONDOSO 1) risulta essere stata determinata con l'ausilio di modelli di simulazione numerica in grado di riprodurre i complessi fenomeni di rifrazione che avvengono sui fondali in esame. La condizione fornita è relativa al fondale di 10m antistante l'opera, ovvero ove è stato ritenuto che i processi tridimensionali di trasformazione d'onda siano sostanzialmente esauriti. In questo contesto, per lo studio in canale, il modello del fondale ricostruito va considerato un modello non in similitudine geometrica ovvero un modello che ha avuto l'obiettivo di riprodurre il più possibile in similitudine solo i processi di shoaling e frangimento delle componenti più alte del moto ondoso incidente. Le caratteristiche del fondale riprodotto sono riportate in Tabella 3.

Per la sezione 430 è stata imposta una profondità al piede lato mare di 10m mentre per le sezioni 250, "250-Prima variante" e "250-seconda variante" una profondità di 8m.

Tabella 3: Profilo del fondale antistante l'opera ricostruito in canale; per la sezione 430 è stato imposto un fondale al piede lato mare di 10m e per le sezioni 250, "250 prima-variante" e "250 seconda variante" un fondale di 8.0m

Distanza progressiva dal piede lato mare [m]	Pendenza [%]
0	0.8%
53	0.8%
106	0.8%
158	0.8%
211	0.8%
264	0.8%
317	0.8%
370	0.8%
422	6%
475	6%

Nella costruzione dei modelli delle due sezioni, 430 e 250, particolare attenzione è stata posta al fine di garantire la massima precisione possibile soprattutto per il posizionamento delle varie quote caratteristiche. Le quote rappresentative della struttura sono state misurate portando la superficie d'acqua in canale tangente ai vari piani e misurando tramite punta idrometrica dotata di nonio con accuratezza 0.05 mm. In particolare, sia per la sezione 430 che per la sezione 250 la quota di estradosso della berma è risultata pari a 5.41 m sul l.m.m., mentre per le sezioni "250-prima variante" e "250-seconda variante" è risultato un valore pari a 4.65 m sul l.m.m.

In Figura 12 è riportata, a titolo di esempio, la documentazione fotografica relativa a tutte le fasi di costruzione del modello della sezione 430.

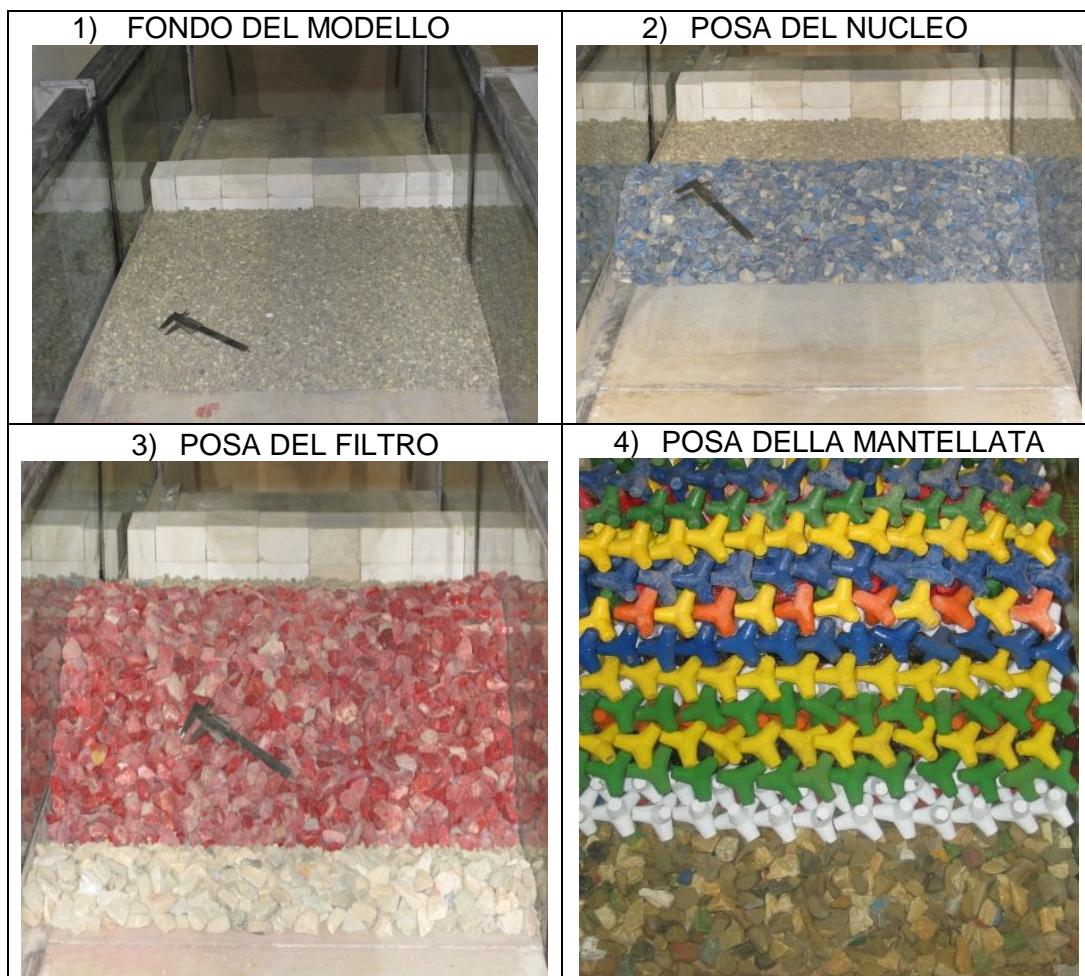


Figura 12: Fasi della costruzione in canale della diga di sopraflutto

Di seguito è riportata una immagine d'insieme del modello realizzato in canale per la sezione 430 e 250 (Figure 13a e 13b), “250-prima variante” e “250-seconda variante” (Figure 14a e 14b).

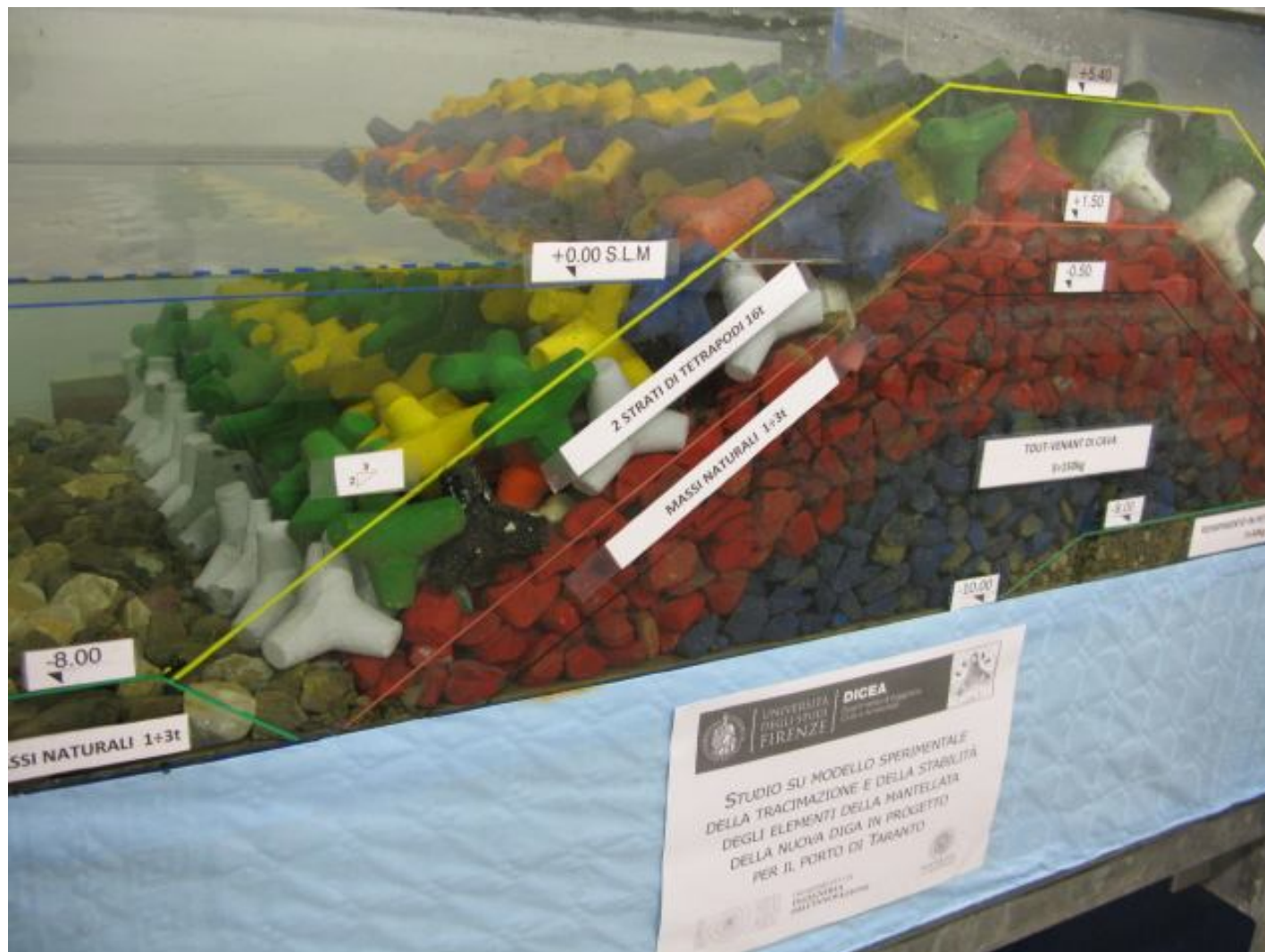


Figura 13 (a): Immagine del modello realizzato: sezione 430

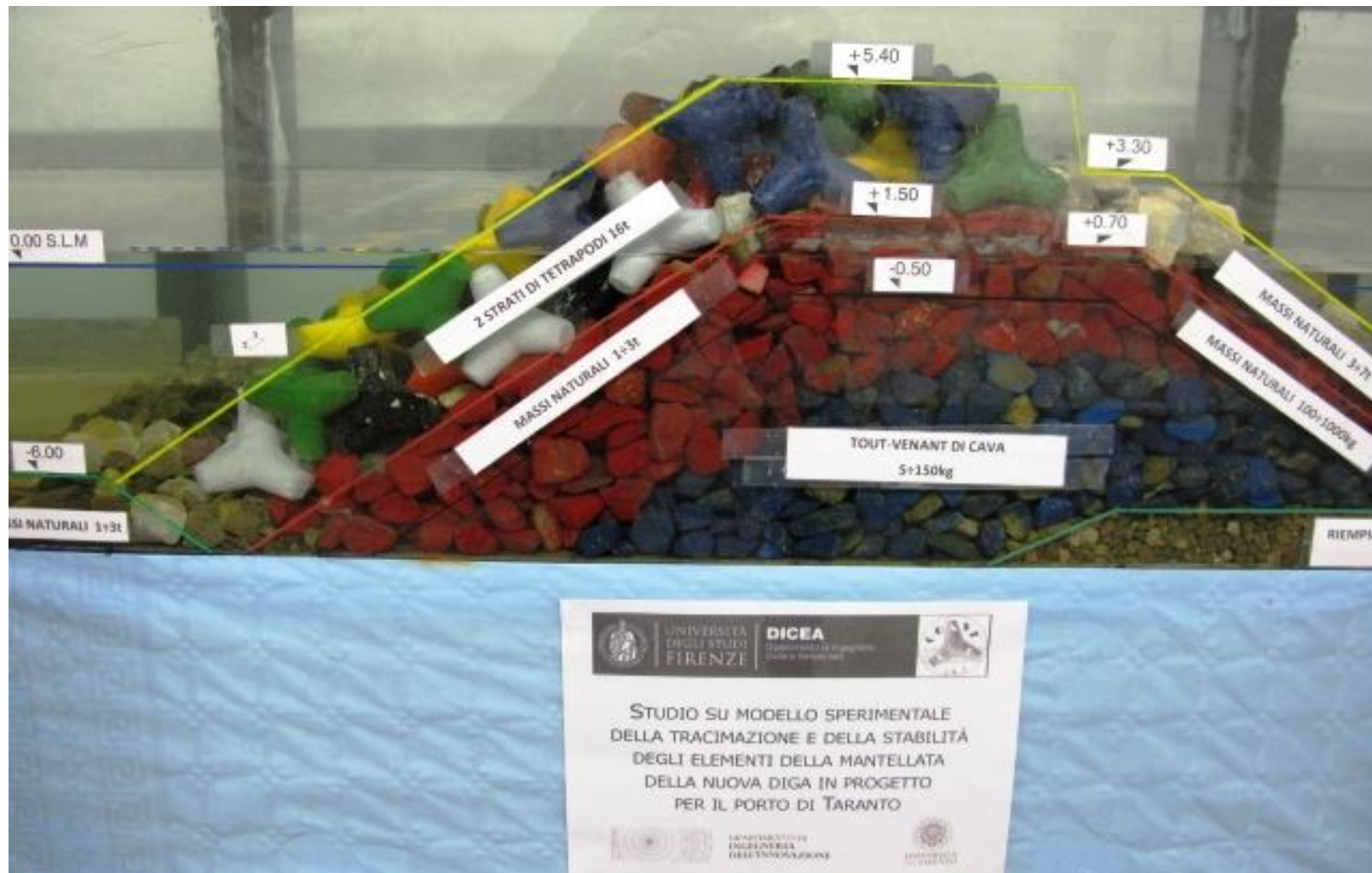


Figura 13 (b): Immagine del modello realizzato: sezione 250



Figura 14 (a): Immagine del modello realizzato: sezione “250-prima variante”



Figura 14 (b): Immagine del modello realizzato: sezione "250-seconda variante"

UNIVERSITA' DEL SALENTO
 CRAIM – CENTRO DI RICERCA APPLICATA ALLA INGEGNERIA MARINA
 Ecotekne – corpo z – via per Monteroni, 73100 Lecce

9. Strumentazione della sezione di misura

La sezione di misura è stata dotata dei seguenti strumenti di misura: sei sonde di livello del tipo ad ultrasuoni (Figura 6), un campionatore dei volumi di tracimazione (Figura 7), una fotocamera digitale per l'acquisizione delle immagini necessarie alle verifiche di stabilità degli elementi della mantellata e una telecamera digitale per la registrazione delle prove condotte.

Tre sonde di livello sono state posizionate con equidistanza di 132cm (scala prototipo) su un fondale di 24m e altre tre sono state posizionate, sempre con la stessa equidistanza, su un fondale di 10. La posizione dei due "vettori di sonde" e l'equidistanza tra i sensori sono state progettate per permettere la funzionalità degli algoritmi finalizzati alla analisi di riflessione per la scomposizione del moto ondoso incidente e riflesso. La frequenza di acquisizione dei dati dai sensori di livello è stata pari a 20Hz.

Il campionatore delle portate di tracimazione ha larghezza della bocca di presa pari a 10cm; la bocca di presa è stata posizionata sull'asse di simmetria del canale con quota di presa esatta di 5.4m sul medio mare.

La fotocamera è stata posizionata al di sopra della diga, con asse quasi verticale e quadro di ripresa che si estende dal piede lato mare della berma al piede fino al porto lato terra della cresta dell'opera.

La videocamera per la ripresa della prova è stata posizionata all'esterno del canale con asse circa orizzontale e puntata sul vetro laterale.

10. Selezione degli attacchi ondosi

A seguito dell'allestimento della strumentazione nella sezione di misura e della costruzione del modello delle sezioni di prova (430, 250, "250-prima variante" e "250-seconda variante") sono state condotte le prove preliminari per la ricerca delle condizioni d'onda richieste. L'obiettivo è stato quello di calibrare il generatore di moto ondoso per riprodurre gli stessi moti ondosi incidenti forniti dal Committente, relativamente ai fondali antistanti aventi profondità 10m.

La procedura iterativa è consistita nella generazione di moti ondosi, registrazione alle sonde di livello posizionate sul fondale di 10m, successiva analisi di riflessione per la misura dell'altezza significativa incidente (metodo di Goda e Suzuki alle coppie di sonde 4-5 e 5-6) e confronto con i valori target.

Nel caso della sezione 430, il fondale al piede è pari a 10m quindi le sonde per la misura dei parametri di onda incidente sono state poste in prossimità del piede dell'opera ad una distanza tale da garantire il corretto funzionamento dell'algoritmo spettrale di disaccoppiamento tra la componente incidente e riflessa.

Nel caso delle sezioni 250 e delle due varianti, posto che il fondale di progetto ai piedi dell'opera è di 8m e che il valore del moto ondoso target è stato fornito in relazione alla batimetrica 10m, le sonde per la misura dei parametri dell'onda incidente sono state arretrate verso mare fino ai fondali di 10.

In Tabella 4 e in

Tabella 5 vengono riportati i parametri caratteristici dei moti ondosi incidenti ottenuti.

Tabella 4: Ricerca onde di prova; *valori medi \pm errore assoluto su 8 generazioni da 133 minuti ciascuna (con la sezione 430 in canale, con fondale al piede 10m).

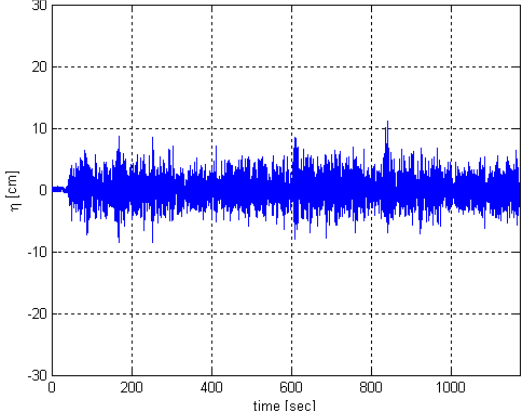
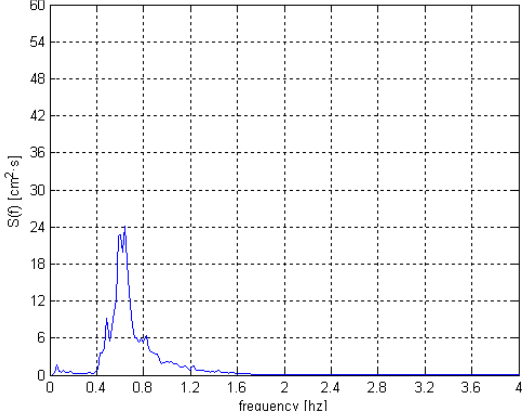
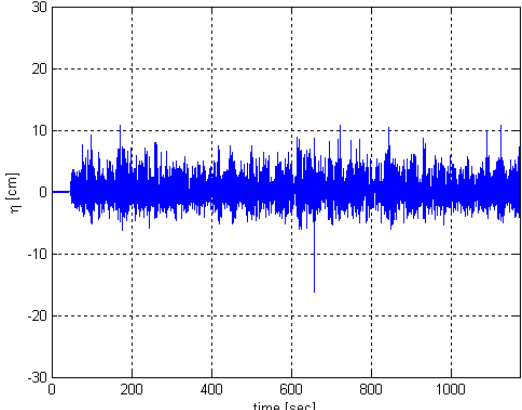
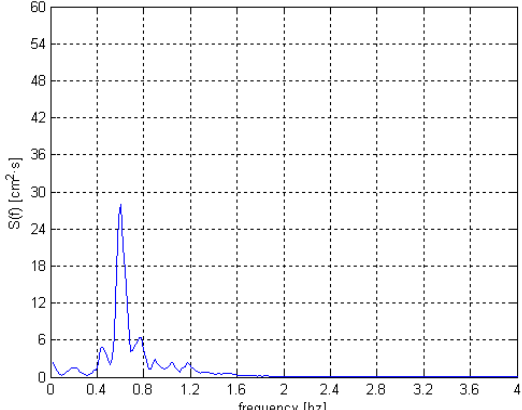
Moto ondoso	Hs richiesta [m]	Hs ottenuta* [m]	Tp richiesto [s]	Tp ottenuto* [s]
MOTO ONDOSO 1	3.80	3.76 \pm 0.21	10.70	10.77 \pm 0.6
MOTO ONDOSO 2	5.30	5.10 \pm 0.25	12.00	12.02 \pm 0.5

Tabella 5: Ricerca onde di prova; *valori medi \pm errore assoluto; per il calcolo dei parametri inerenti al moto ondoso 1 sono state utilizzate 24 generazioni da 133 minuti, delle quali 8 riprodotte con la sezione 250, 8 con la sezione "250-prima variante" e 8 con la sezione "250-seconda variante"; per il moto ondoso 2 sono state utilizzate le 8 generazioni da 133 minuti per le prove per la sezione 250 poichè tale moto ondoso non è stato riprodotto per le sezioni "250-prima variante" e "250-seconda variante".

Moto Ondoso	Hs richiesta [m]	Hs ottenuta* [m]	Tp Richiesto [s]	Tp Ottenuto* [s]
MOTO ONDOSO 1	3.80	3.90 \pm 0.38	10.70	10.74 \pm 0.6
MOTO ONDOSO 2	5.30	5.00 \pm 0.30	12.00	11.90 \pm 0.3

Le analisi nel dominio della frequenza, per la misura dei parametri spettrali d'onda Hs e Tp sono state eseguite ogni 133 minuti di acquisizione mediando su 23 campioni da 1024 dati, in modo da avere una risoluzione in frequenza pari a 0.0195Hz. A titolo di esempio si riportano in Tabella 6 le misure dei moti ondosi e dei relativi spettri sui fondali di 24 m e sui fondali di 10 m.

Tabella 6: Esempio di moti ondosi generati e relativi spettri in frequenza (scala del modello)

Moto Ondoso	Livelli* [m]	Spettro* [m]
MOTO ONDOSO 1 Su fondale di 24m	<p>Level time serie at Wg2 Test: H120T161S50C2-sid6 Date: 26-11-13</p> 	<p>Amplitude Spectrum at Wg2 Test: H120T161S50C2-sid6 Date: 26-11-13</p> 
MOTO ONDOSO 1 Su fondale di 10m	<p>Level time serie at Wg5 Test: H120T161S50C2-sid6 Date: 26-11-13</p> 	<p>Amplitude Spectrum at Wg5 Test: H120T161S50C2-sid6 Date: 26-11-13</p> 

* dati relativi alla sonda 2 su posta su 24m di fondale e alla sonda 5 posta su 10m di fondale (con sezione 430 in canale)

11. Misure di tracimazione

Le misure di tracimazione sono state condotte posizionando un recipiente campionario dei volumi tracimati (Figura 7) avente bocca di presa larga 10cm, posto a tergo dell'opera lungo l'asse del canale e con quota di presa pari al valore esatto dell'estradosso della berma della struttura (5.4m).

Il campionario era dotato di un volume di stoccaggio collegato ad una pompa che ha permesso di spillare i volumi tracimanti durante la prova, di misurarli con bilancia di precisione 0.1g per poi riversarli in canale. Ogni moto ondoso ha avuto durata pari a 6000 periodi di picco corrispondenti a 17 ore per il moto ondoso 1 e 20 ore per il moto ondoso 2.

I valori della portata media di tracimazione misurati per i due moti ondosi e le due sezioni di prova sono riassunti in Tabella 7.

Tabella 7: Misure di *overtopping* (scala prototipo)

Moto Ondoso	Sezione 430	Sezione 250	*Sezione "250-prima variante"	**Sezione "250-seconda variante"
MOTO ONDOSO 1 Hs=3.8m Tp=10.7s	6×10^{-2} l/s/m	2×10^{-1} l/s/m	8×10^{-1} l/s/m	8×10^{-1} l/s/m
MOTO ONDOSO 2 Hs=5.3m Tp=12.0s	7×10^0 l/s/m	6×10^0 l/s/m	Prova non condotta	Prova non condotta

*nel caso di questa sezione i valori sono stati ottenuti mediando misure su 2250 periodi di picco.

**per la sezione "250-seconda variante", non sono intervenuti cambiamenti che possono aver influenzato il processo di tracimazione, quindi la misura non è stata condotta e il valore è assunto pari a quello della sezione "250-prima variante".

12. Stabilità degli elementi della mantellata al tronco diga

Come detto nell'introduzione della presente relazione tecnica, nel corso della fase di montaggio della mantellata è risultato fisicamente impossibile raggiungere una densità di 36 elementi per 100mq; quindi, la mantellata è stata montata con il massimo grado di densità possibile pari a 30 unità su 100mq corrispondente a circa il 50% del volume della mantellata; tale valore risulta essere anche il valore desumibile dalla letteratura tecnica specifica (e.g. http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/EM_1110-2-1100_vol/PartVI/cem-vi-5.pdf).

Per la verifica della stabilità dei tetrapodi da 16t costituenti la mantellata lato mare delle due sezioni in esame, 430 e 250, oltre all'esame visivo continuo della scogliera nel corso degli attacchi ondosi, sono state scattate fotografie della mantellata prima dell'inizio degli attacchi ondosi 1 e 2 e ogni 133 minuti fino alla fine delle prove. Ciascun attacco ondoso ha avuto una durata pari a 6000 periodi di picco, corrispondente a 17 ore per il moto ondoso 1 e a 20 ore per il moto ondoso 2.

Sia nel caso della sezione 430 che nel caso della sezione 250, la mantellata in tetrapodi da 16t è risultata stabile con danno pari a zero. Nessun tetrapodo si è spostato nel corso dell'intero attacco ondoso: non si è notato nessun movimento, neppure di rotazione, dei tetrapodi durante le prove. Dunque, per entrambi i 2 attacchi ondosi, non si è osservato alcun fenomeno né di rolling né di rocking degli elementi di mantellata. A titolo di esempio, le immagini relative all'inizio e alla fine di ciascun moto ondoso di prova per entrambe le sezioni sono riportate in Tabella 8, Tabella 9, Tabella 10 e Tabella 11.

Il progetto redatto dal Committente e oggetto del presente studio prevede che la mantellata lato terra della sezione 250 non venga realizzata con tetrapodi ma con massi naturali da 3-7 t. Nel corso delle prime prove, la verifica della stabilità di questa parte della mantellata non era l'obiettivo dello studio; infatti, lato terra, era installato l'apparato per il campionamento delle portate di tracimazione. Tuttavia, durante lo svolgimento delle prove, si è osservato che sotto l'azione del moto ondoso 1, questa parte della mantellata ha mostrato lievi danni. Sotto l'azione del moto ondoso 2 la mantellata lato terra ha mostrato totale instabilità nella zona di interfaccia con la mantellata lato mare in tetrapodi, tanto che la parte alta della mantellata lato terra è scivolata verso il fondale, a causa della sollecitazione dei volumi di tracimazione, lasciando scoperto il filtro. Le immagini della mantellata lato terra, scattate prima e dopo la esecuzione delle prove con i moti ondosi 1 e 2, sono riportate in Tabella 12. Si ribadisce che in queste prove era presente l'apparato per la misura dei volumi di tracimazione che poteva influenzare la stabilità.

Al fine di indagare ulteriormente il fenomeno di instabilità della mantellata lato terra in massi naturali, il Committente ha richiesto una specifica verifica della stabilità anche della mantellata lato terra, ma limitatamente all'onda di progetto (qui detta moto ondoso 1). Le prove sono quindi state eseguite nuovamente ma per la sola sezione 250 e sotto l'azione del solo moto ondoso 1, senza installare l'apparato per la misura della tracimazione. Le fotografie della mantellata lato terra scattate prima dell'inizio dell'attacco ondoso 1 e ogni 133 minuti fino alla fine della prova, riportate in ALLEGATO B, mostrano la leggera instabilità verificatasi con movimento di massi inferiore all'1% (vedi anche Tabella 13).

Come detto nella premessa alla presente relazione tecnica, con e.mail del 9-12-13 il Committente ha richiesto al Laboratorio di sottoporre a verifica, per il solo moto ondoso 1, la stabilità della mantellata lato terra in massi naturali, con riferimento a due ulteriori varianti della

sezione 250 cambiando il livello della berma da 5.40m sul l.m.m. a 4.70m sul l.m.m. (prima ipotesi progettuale di S.J.S.). Le due varianti consistono in:

- prima variante: massi da 3-7 t per la mantellata lato terra (detta "250-prima variante");
- seconda variante: massi da 7-10t per la mantellata lato terra (detta "250-seconda variante").

Per soddisfare tale esigenza di estrema urgenza dei risultati sperimentali prospettate dal Committente, prove aggiuntive di stabilità sono state eseguite con durata pari a 3750 periodi di picco. Tale durata degli attacchi ondosi è comunque sufficiente per condurre verifiche di stabilità con soddisfacente accuratezza.

Le foto della mantellata lato terra scattate prima dell'inizio dell'attacco ondoso 1 e ogni 133 minuti fino alla fine della prova, sia per la sezione "250-prima variante" che per la sezione "250-seconda variante" sono riportate in ALLEGATO C. La Tabella 14 e la Tabella 15 riportano le foto scattate all'inizio e alla fine del moto ondoso 1 per la sezione "250-prima variante" e "250-seconda variante".

La documentazione fotografica attesta chiaramente che: a) si è verificata una qualche instabilità della mantellata lato terra in massi naturali da 3-7 t (250-prima variante); b) si è verificata la condizione di stabilità con danno nullo, sotto l'onda di progetto (qui detto moto ondoso 1), nel caso in cui la mantellata fosse costituita da massi naturali da 7-10t.

Tabella 8: Foto della mantellata lato mare della sezione 430 prima e dopo il moto ondoso 1 (parametri significativi sui fondali di 10m Hs=3.8 Tp=10.7s)

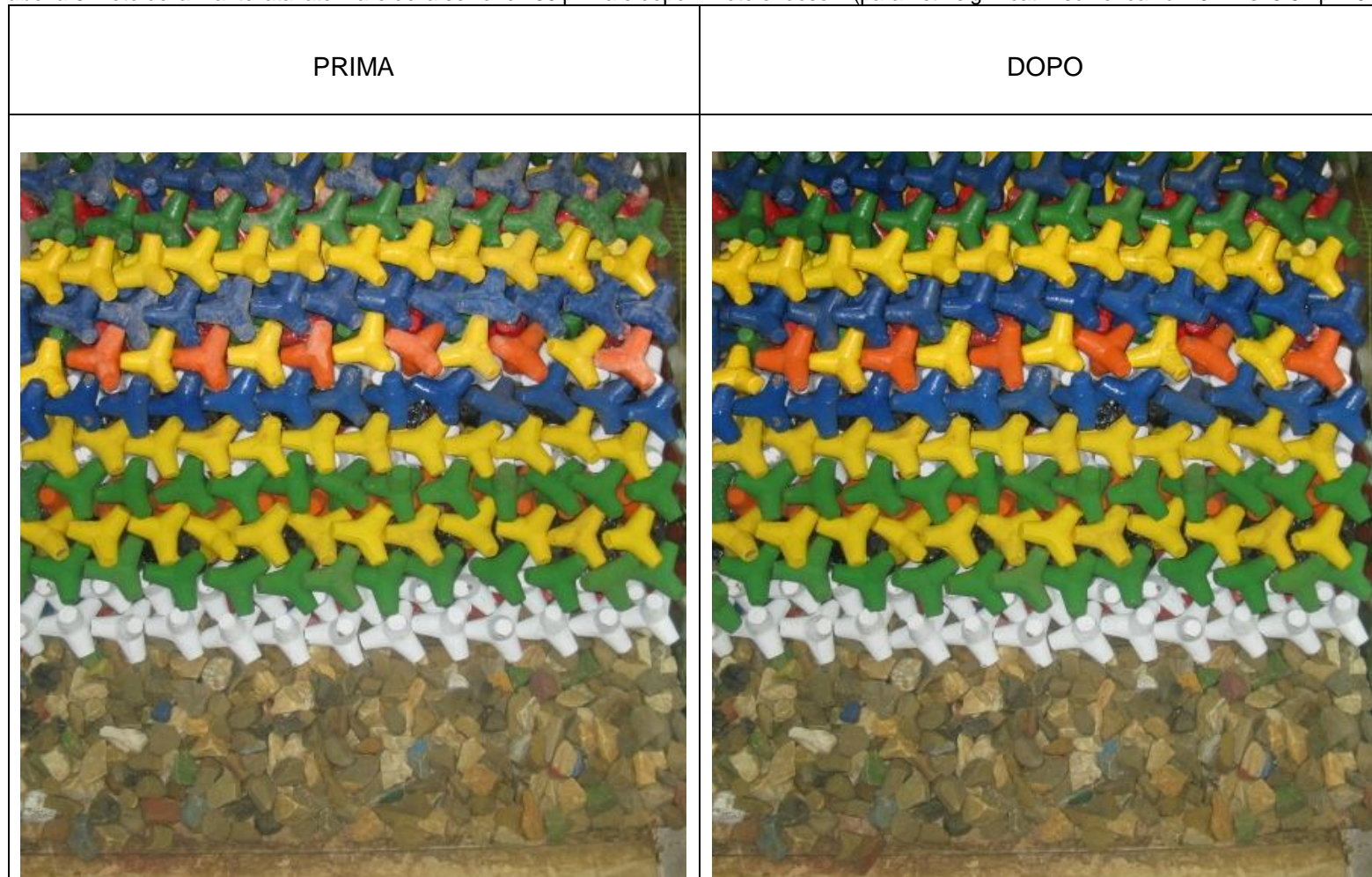


Tabella 9: Foto della mantellata lato mare della sezione 430 prima e dopo il moto ondoso 2 (parametri significativi sui fondali di 10m $H_s=5.3$ $T_p=12.0s$)

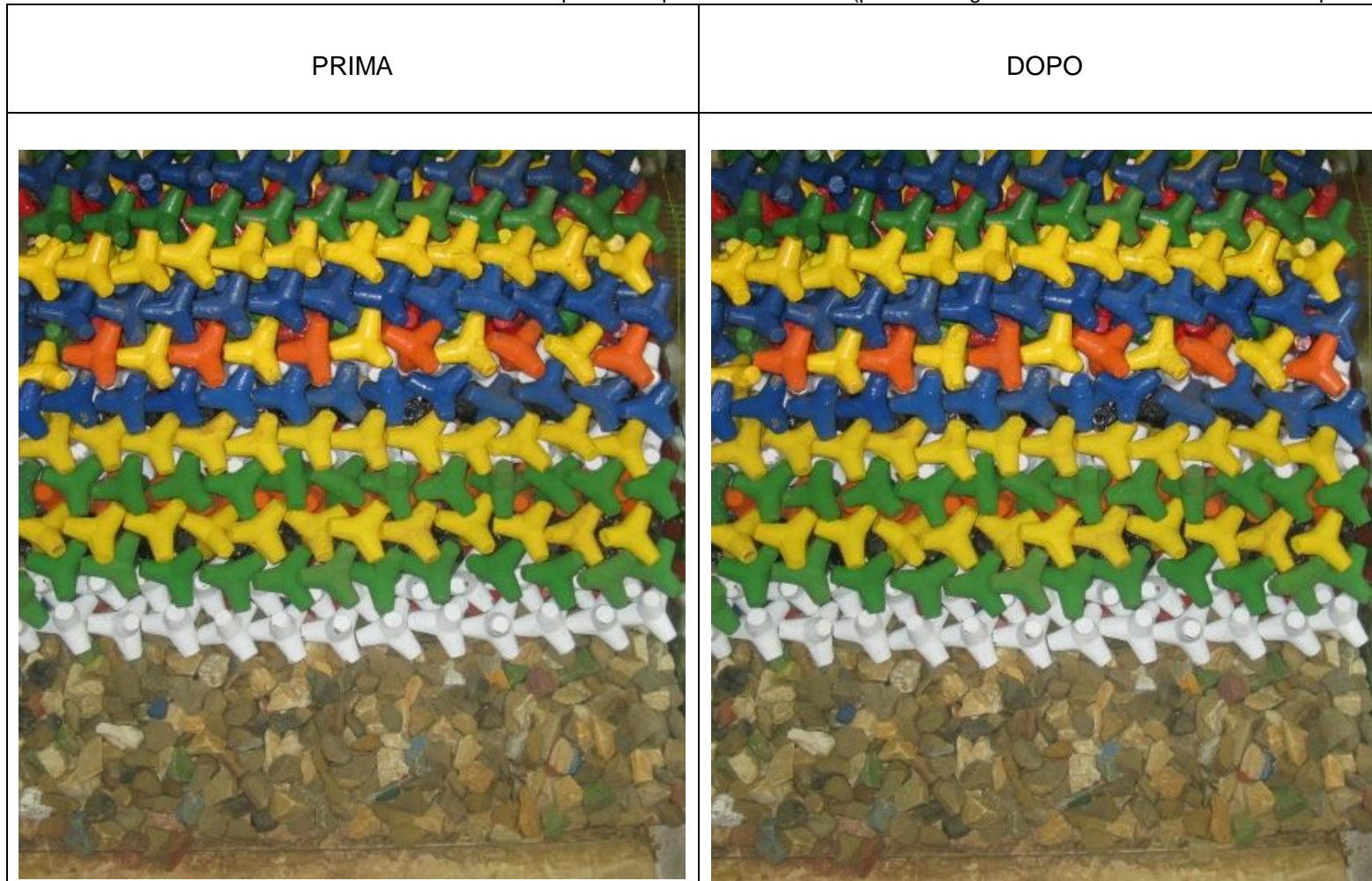


Tabella 10: Foto della mantellata lato mare della sezione 250 prima e dopo il moto ondoso 1 (parametri significativi sui fondali di 10m Hs=3.8 Tp=10.7s)

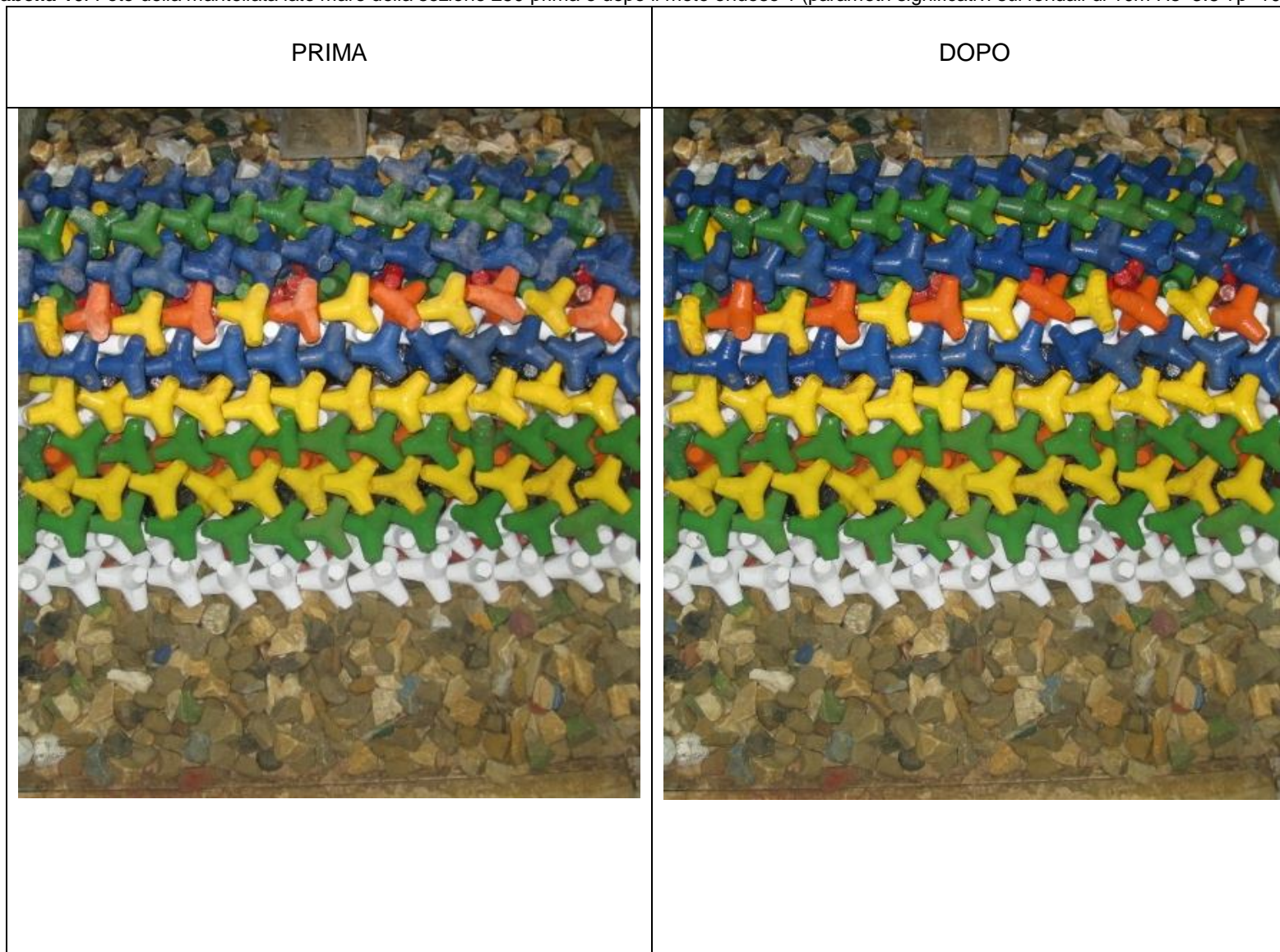


Tabella 11: Foto della mantellata lato mare della sezione 250 prima e dopo il moto ondoso 2 (parametri significativi sui fondali di 10m Hs=5.3 Tp=12.0s)

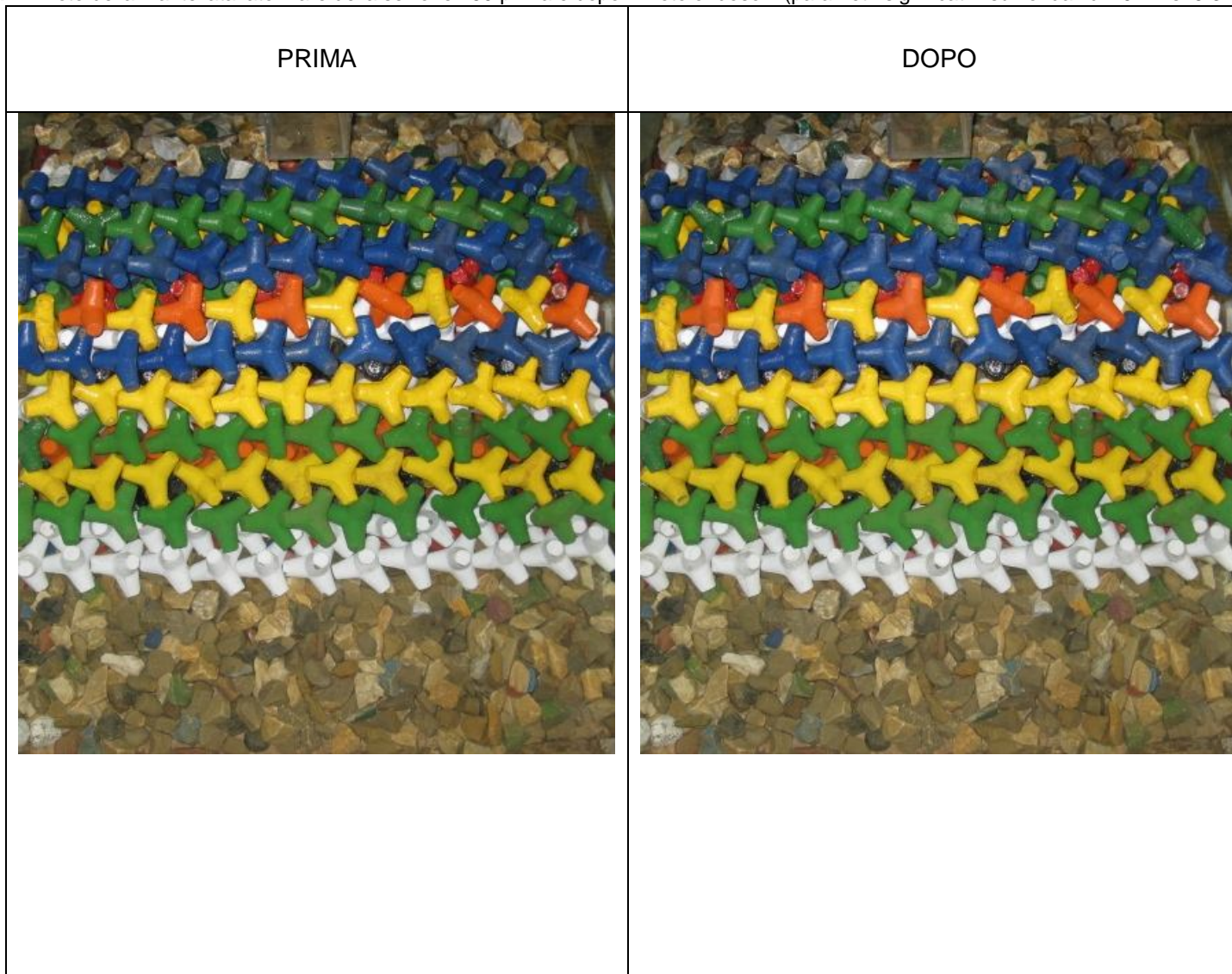


Tabella 12: Foto della mantellata lato terra della sezione 250 prima e dopo attacchi d'onda con il moto ondoso 1 e poi il moto ondoso 2. Queste prove non erano finalizzate alla verifica della stabilità della mantellata lato mare e quindi sono state condotte in presenza dell'apparato per la misura dell'overtopping. Sono comunque state utili per mettere in luce qualitativamente i fenomeni di instabilità. Non si tenga conto dello spostamento del tetrapodo visibile nell'immagine a destra perchè questo era stato spostato manualmente per permettere l'installazione dello scivolo di presa delle portate di overtopping

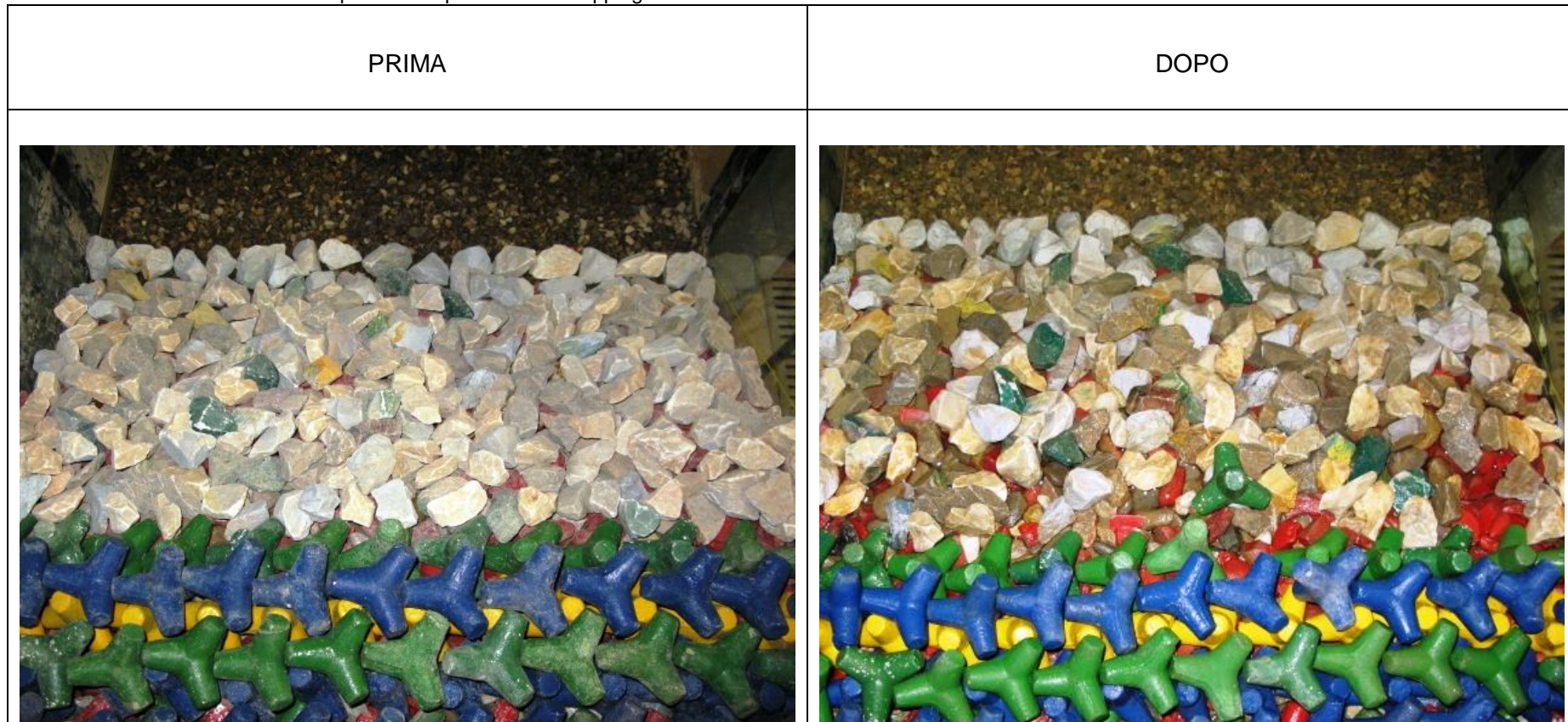


Tabella 13: Foto della mantellata lato terra della sezione 250 prima e dopo il moto ondoso di progetto detto moto ondoso 1. (parametri significativi sui fondali di 10m Hs=3.8 Tp=10.7s)

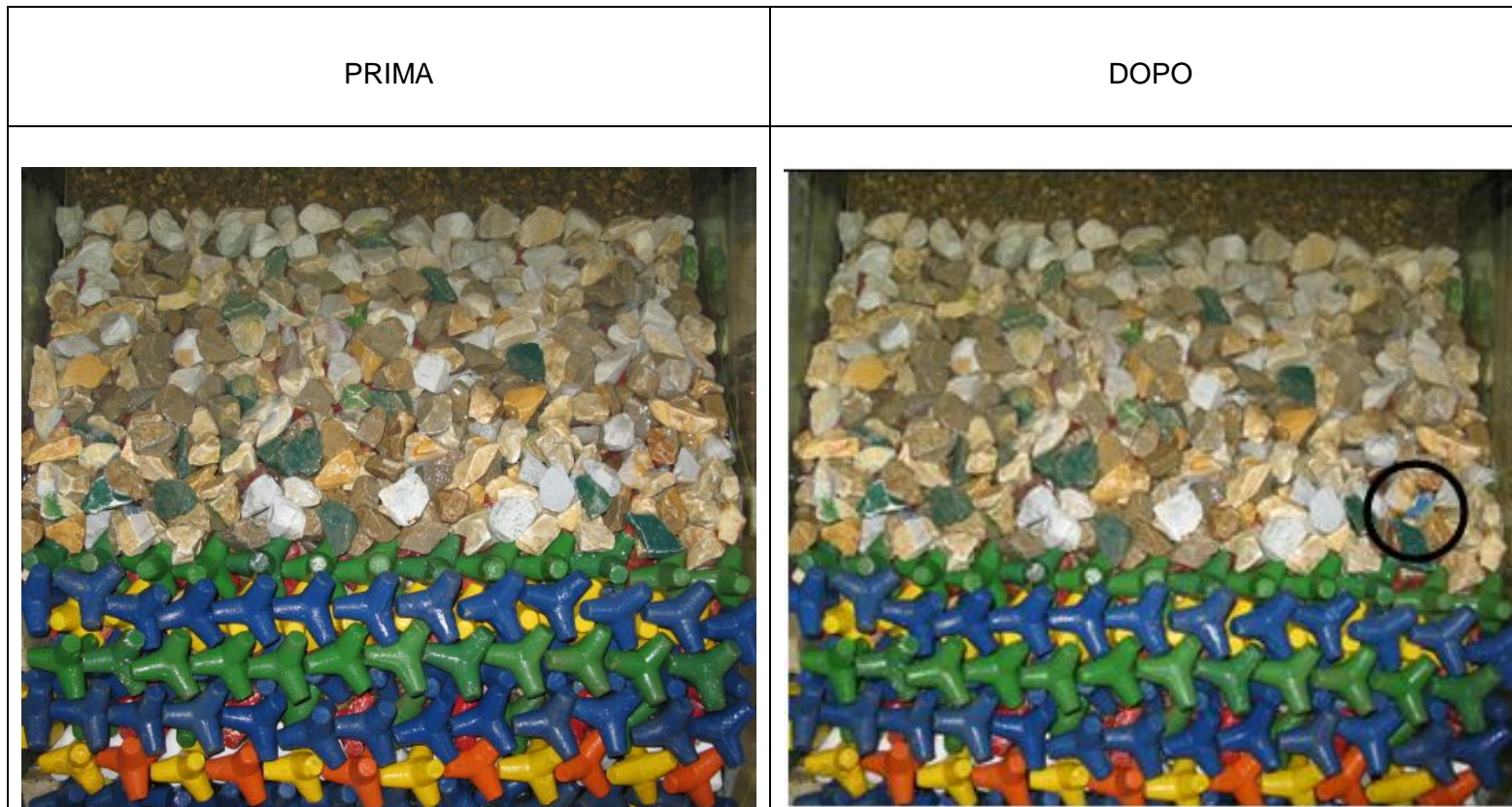


Tabella 14: Foto della mantellata lato terra della sezione "250-prima variante" (mantellata in massi naturali da 3-7 t) prima e dopo il moto ondoso di progetto detto moto ondoso 1. (parametri significativi sui fondali di 10m Hs=3.8 Tp=10.7s)

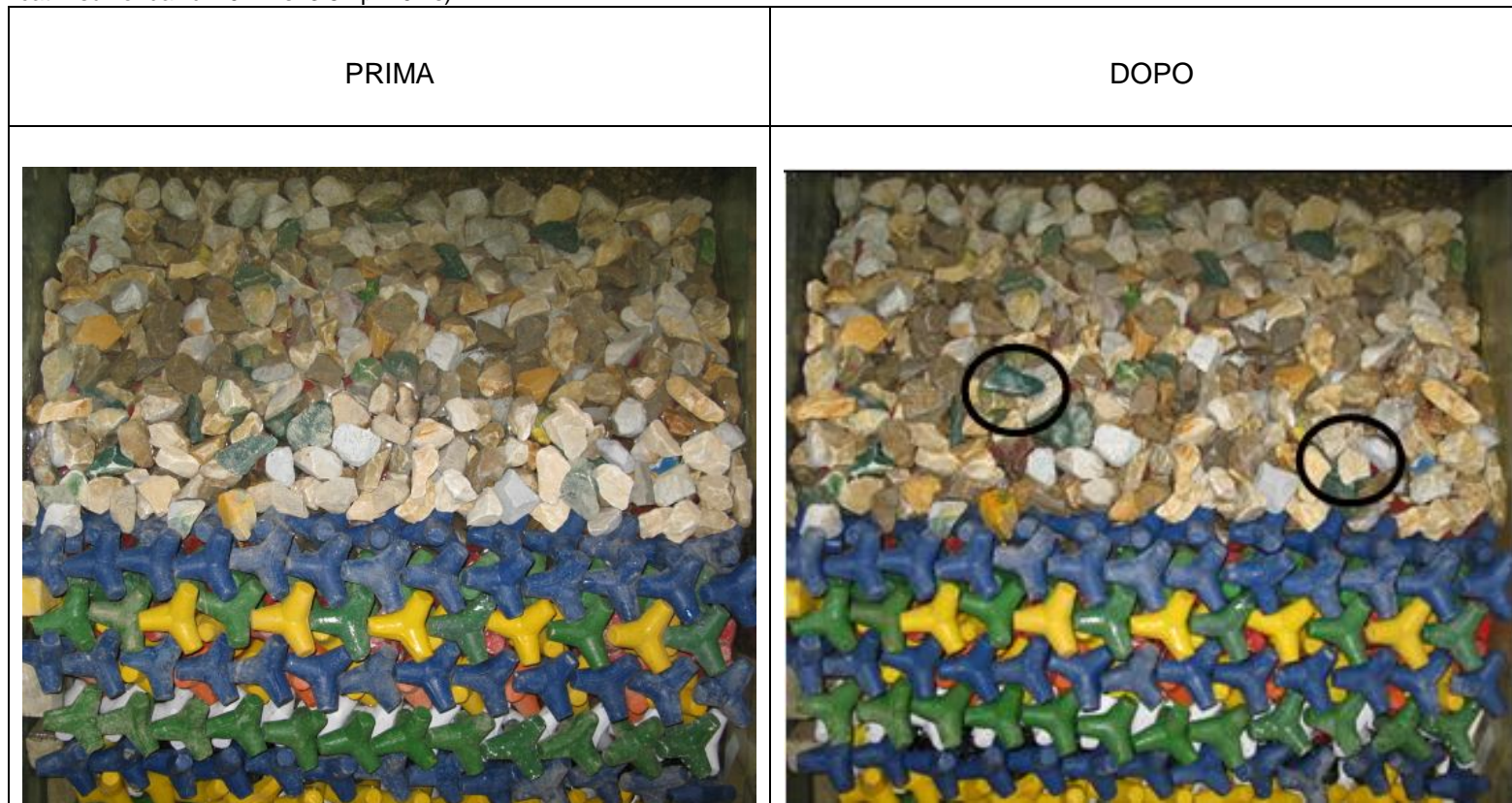
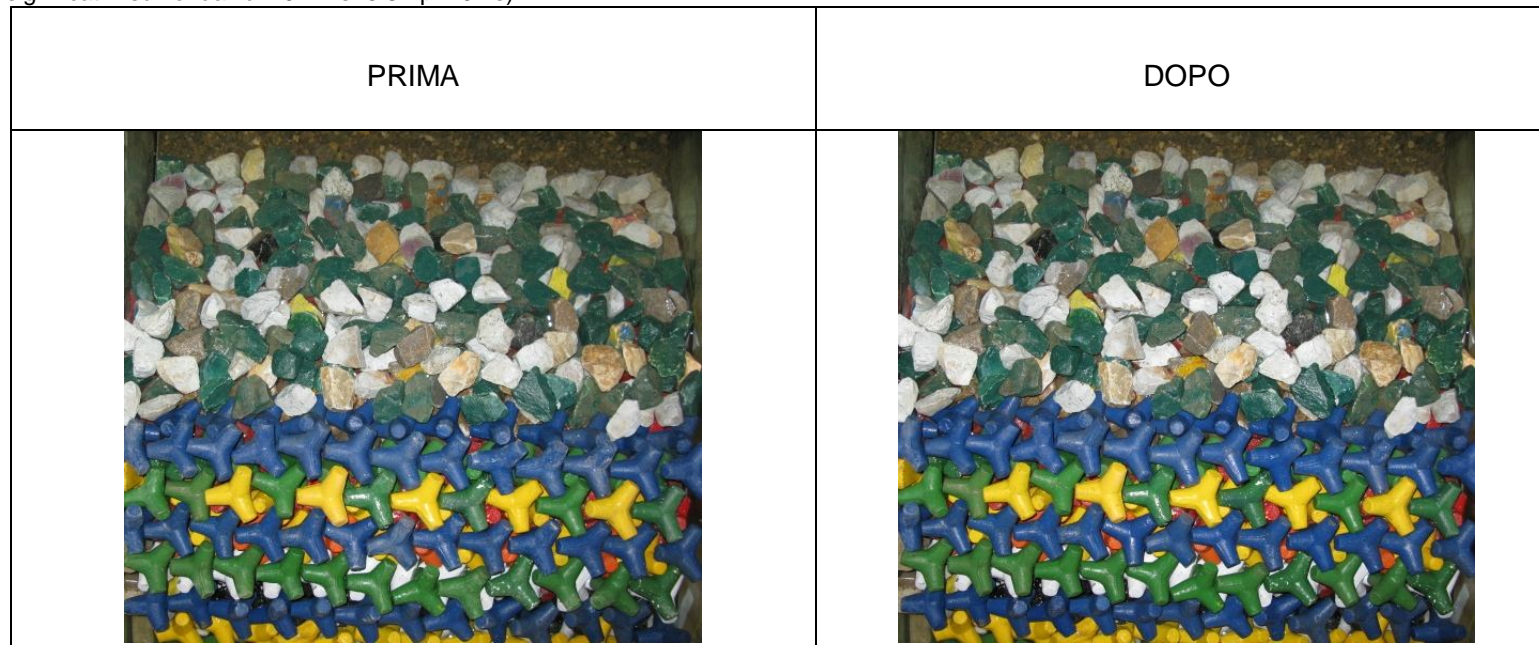


Tabella 15: Foto della mantellata lato terra della sezione "250-seconda variante" (mantellata con massi naturali da 7-10t) prima e dopo il moto ondoso di progetto detto moto ondoso 1. (parametri significativi sui fondali di 10m Hs=3.8 Tp=10.7s)



13. Sintesi dei risultati

La società di ingegneria S.J.S. Engineering s.r.l. (Committente) ha affidato al Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento l'incarico di condurre uno studio idraulico sperimentale, su modello fisico in canale per moto ondoso, finalizzato alla verifica della stabilità degli elementi della mantellata e dei livelli di tracimazione inerenti ad una diga a scogliera frangiflutti antemurale nel porto di Taranto in corso di progettazione.

Il Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione ha eseguito una ricognizione dei laboratori idraulico-marittimi e ha ritenuto di avvalersi, per motivi di urgenza e di elevata professionalità, del personale tecnico e della installazione di ricerca del Laboratorio di Ingegneria Marittima nel Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze.

Le prove di laboratorio sono state effettuate a partire da metà del mese di ottobre 2013 e sino a tutto il mese di novembre 2013.

La S.J.S. Engineering s.r.l. ha indicato 2 differenti sezioni dell'opera da sottoporre alle prove sperimentali, relative, rispettivamente, alle progressive 430 m e 250 m, specificandone le caratteristiche geometriche e costruttive di progetto.

Il modello fisico bidimensionale in canale, come consuetudini per studi di questo tipo, è stato realizzato in similitudine di Froude.

Il fattore di scala da utilizzare per la realizzazione del modello è stato selezionato tenendo in conto anche i vincoli di laboratorio. In particolare, si è adottato un fattore di scala pari a 1:38 per il nucleo della struttura e 1:44 per le restanti parti della stessa.

Il moto ondoso di progetto, relativo ad un periodo di ritorno $TR = 100$ anni, (nel presente studio definito 'moto ondoso 1'), fornito dal Committente, è caratterizzato dai parametri caratteristici d'onda, alla batimetrica 10 m dinanzi all'opera, pari a $H_s=3.42$ m e $T_p=10.7$ s.

Come concordato con il Committente, l'altezza d'onda significativa adottata nel corso delle prove è stata maggiorata del 10%; dunque il moto ondoso 1 ha le seguenti caratteristiche: $H_s=3.8$ m e $T_p=10.7$ s.

Oltre al moto ondoso di progetto (m.o. 1) è stato adottato anche un secondo moto ondoso di intensità maggiore ('moto ondoso 2') con parametri caratteristici, sempre riferiti alla batimetrica 10 m, pari a $H_s=5.3$ m e $T_p=12.0$ s.

Le verifiche di stabilità della diga a scogliera per le due sezioni in esame (430 e 250) sono state condotte con riferimento a una durata pari a 6000 periodi di picco, corrispondente a 17 ore per il moto ondoso 1 e a 20 ore per il moto ondoso 2.

Nel corso delle prove si è potuto verificare che, sia per la sezione 430 che per la sezione 250, la mantellata lato mare composta da tetrapodi di peso 16 t risulta stabile, con danno pari a zero. Per entrambi gli attacchi ondosi adottati (1 e 2), non si è osservato alcun fenomeno né di rolling (rotolamento) né di rocking (ondeggiamento) degli elementi di mantellata.

Per ciò che riguarda, invece, la mantellata lato terra, vi è da evidenziare come il progetto redatto dal Committente prevedeva che la stessa venisse realizzata con massi naturali da 3-7 t, per il caso della sezione 250, e con tetrapodi in cls cementizio, per la sezione 430.

Nel corso dello svolgimento delle indagini di laboratorio, per la sezione 250, si è osservato, che sotto l'azione del moto ondoso 1 parte della mantellata lato terra ha mostrato lievi danni. Sotto

l'azione del moto ondoso 2, la mantellata lato terra ha manifestato una totale instabilità nella zona di interfaccia con la mantellata lato mare in tetrapodi, tanto che la parte alta della mantellata lato terra è scivolata verso il fondale, a causa delle sollecitazioni indotte dai volumi di tracimazione, lasciando scoperto il filtro. Si sottolinea che nel corso delle prove era presente l'apparato per la misura dei volumi di tracimazione che poteva influenzare la stabilità. Pertanto, al fine di indagare ulteriormente il fenomeno di instabilità della mantellata lato terra in massi naturali, il Committente ha richiesto una specifica verifica della stabilità anche della mantellata lato terra, per il caso della sezione 250, limitatamente all'onda di progetto, questa volta senza la presenza dell'apparato per la misura dei volumi di tracimazione. A conclusione della prova si è verificata una leggera instabilità con movimento di massi inferiore all'1%.

A seguito della discussione dei risultati riportati nella relazione preliminare, il Committente ha chiesto di sottoporre a verifica sperimentale, per il solo moto ondoso 1, la stabilità della mantellata lato terra in massi naturali, con 2 ulteriori varianti della sezione 250: tali 2 varianti, riferite alla condizione di livello della berma ridotto da 5.40 m sul l.m.m. a 4.70 m sul l.m.m. (prima ipotesi progettuale di S.J.S.) sono così sintetizzabili:

- prima variante: massi da 3-7 t per la mantellata lato terra (detta "250-prima variante");
- seconda variante: massi da 7-10 t per la mantellata lato terra (detta "250-seconda variante").

Per soddisfare la esigenza di estrema urgenza rappresentata dal Committente, per le prove aggiuntive di stabilità è stata adottata una durata pari a 3750 periodi di picco. Tale durata degli attacchi ondosi è valutata comunque sufficiente per condurre verifiche di stabilità con soddisfacente accuratezza.

La indagini sperimentali condotte hanno mostrato chiaramente che:

- a) 250-prima variante : si è verificata una qualche instabilità della mantellata lato terra in massi naturali da 3-7 t;
- b) 250-seconda variante : non si è verificata una qualche instabilità della mantellata lato terra in massi naturali da 7-10 t.

La berma al piede lato mare dell'opera è risultata stabile nel corso della intera serie di prove di laboratorio.

Per ciò che riguarda le misure di tracimazione, le indagini sperimentali condotte hanno mostrato che, sotto l'azione del moto ondoso di progetto la sezione 250 presenta valori della portata media di tracimazione più elevati in confronto a quelli osservati per il caso della sezione 430. Inoltre, la riduzione del livello della berma adottata per le 2 varianti alla sezione 250 di progetto (250-prima variante e 250-seconda variante) determina un incremento dei valori dei volumi tracimanti. In tutti i casi i volumi di tracimazione osservati nel corso degli attacchi ondosi di prova non sono compatibili con la necessità di assicurare un rischio basso per la perdita di vita di uomini o di cose lungo il corpo diga e determinano una sensibile agitazione trasmessa a tergo della diga; tuttavia i detti volumi di tracimazione osservati risultano accettabili in quanto il progetto non prevede la presenza di vita umana sul corpo diga né lo stazionamento di imbarcazioni immediatamente in prossimità del lato terra della antemurale.

Lecce, 30 gennaio 2014

(prof. ing. Felice D'Alessandro)





S.J.S. Engineering s.r.l.

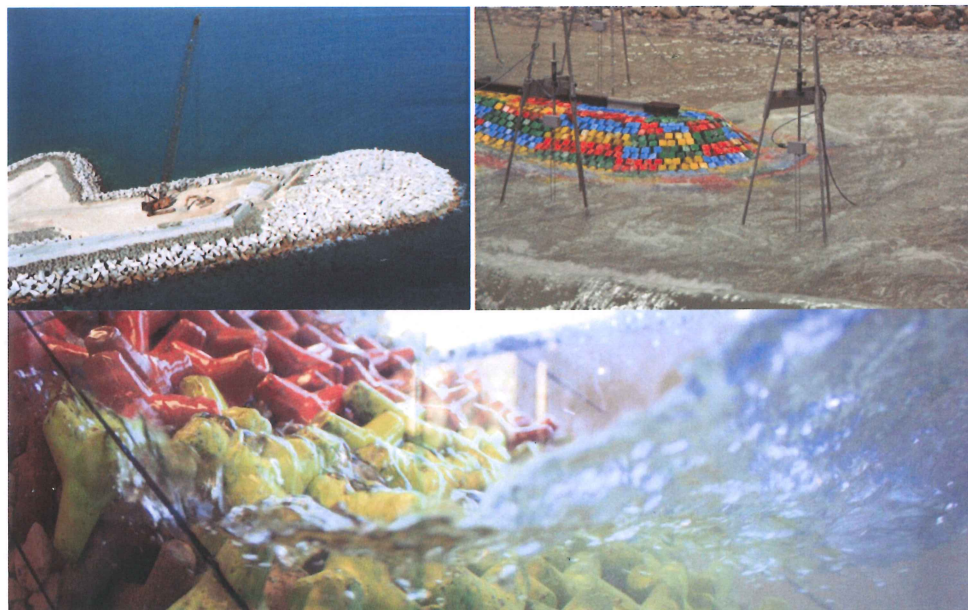
TARANTO

S.S. 106 Molo Polisettoriale, 74123

Prove idrauliche su modelli fisici a supporto della progettazione della nuova diga foranea nel Porto di Taranto

Allegato A

Documentazione fotografica della stabilità degli elementi di mantellata



Responsabile scientifico
prof. ing. Felice D'Alessandro

Gennaio 2014

Indice delle Tabelle

Tabella 1: immagini della mantellata lato mare della SEZIONE DI PROVA 430 . Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del MOTO ONDOSI 1 e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.	4
Tabella 2: immagini della mantellata lato mare della SEZIONE DI PROVA 430 . Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del MOTO ONDOSI 2 e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.	9
Tabella 3: immagini della mantellata lato mare della SEZIONE DI PROVA 250 . Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del MOTO ONDOSI 1 e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.	14
Tabella 4: immagini della mantellata lato mare della SEZIONE DI PROVA 250 . Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del MOTO ONDOSI 2 e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.	19

ALLEGATO A

Nel presente ALLEGATO A si riporta la documentazione fotografica inerente alla verifica di stabilità degli elementi della mantellata.

Il moto ondoso di progetto (nel seguito detto MOTO ONDOSI 1), fornito dal Committente, è caratterizzato dai parametri caratteristici d'onda, sui fondali di 10m antistanti l'opera, pari a $H_s=3.42\text{m}$ e $T_p=10.7\text{s}$; su richiesta del Committente l'altezza d'onda è stata maggiorata del 10% e risulta quindi pari a $H_s=3.8\text{m}$. Oltre al moto ondoso di progetto è stato richiesto di testare anche un secondo moto ondoso di intensità maggiore (nel seguito detto MOTO ONDOSI 2) con parametri caratteristici, sempre riferiti ai fondali di 10m antistanti l'opera, pari a $H_s=5.3\text{m}$ e $T_p=12.0\text{s}$.

Le prove di stabilità sono state condotte riproducendo attacchi ondosi di durata pari 6000 periodi di picco. Sia per la sezione di prova 430 (con fondale al piede di 10m) che per la 250 (con fondale al piede di 8m), sono riportate le immagini della mantellata prima dell'inizio degli attacchi ondosi 1 e 2 e ogni 133 minuti fino alla fine.

Tabella 1: immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



Prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 1	133 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

266 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1



399 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1



Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

532 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1



665 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1



Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

798 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1



931 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1



Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

1064 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1



Tabella 2: immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



Prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 2	133 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2
	

Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

266 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



399 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

532 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



665 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

798 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



931 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 430**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

1064 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



1197 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



Tabella 3: immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



Prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 1	133 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 3 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



266 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	399 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 3 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



532 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	665 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 3 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



798 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	931 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 3 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

1064 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	
	

Tabella 4: immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



Prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 2	133 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2
	

Tabella 4 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.


266 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2	399 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2
	

Tabella 4 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



532 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2	665 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2
	

Tabella 4 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



798 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



931 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2



Tabella 4 (continuo): immagini della mantellata lato mare della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 2** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

1064 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2	1197 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 2
	



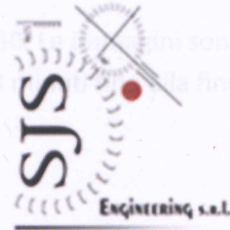
UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

Centro di Ricerca Applicata
alla Ingegneria Marina

S.J.S. Engineering s.r.l.

TARANTO

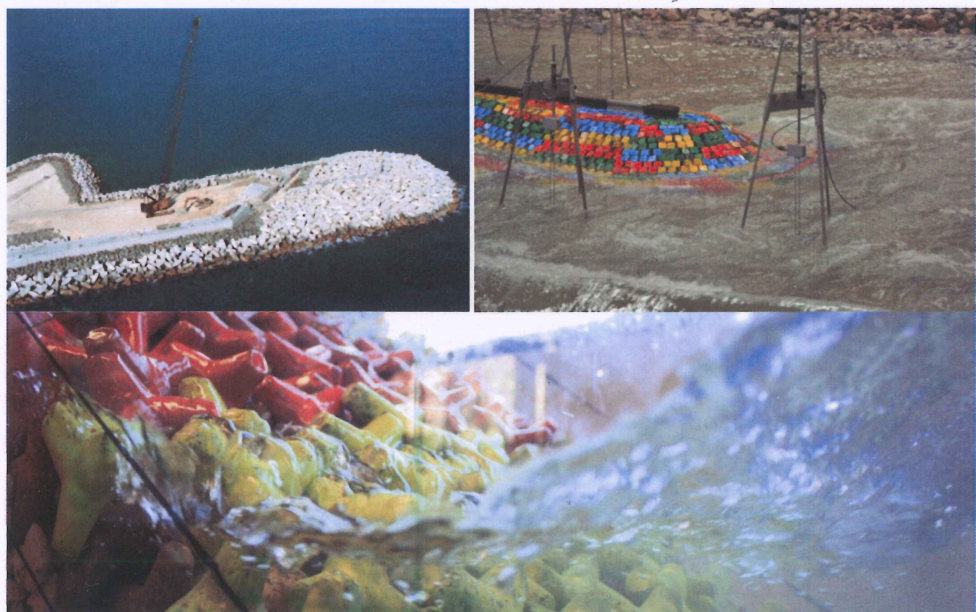
S.S. 106 Molo Polisetoriale, 74123



Prove idrauliche su modelli fisici a supporto della progettazione della nuova diga foranea nel Porto di Taranto

Allegato B

Documentazione fotografica della stabilità degli elementi di mantellata lato porto



Responsabile scientifico
prof. ing. Felice D'Alessandro

Gennaio 2014

Indice delle Tabelle

Tabella 1: immagini della mantellata lato porto della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine..... 4

ALLEGATO B

Nel presente ALLEGATO B si riporta la documentazione fotografica inerente alla verifica di stabilità degli elementi della mantellata lato porto.

Il moto ondoso di progetto (nel seguito detto MOTO ONDOSI 1), fornito dal Committente, è caratterizzato dai parametri caratteristici d'onda, sui fondali di 10m antistanti l'opera, pari a $H_s=3.42\text{m}$ e $T_p=10.7\text{s}$; su richiesta del Committente l'altezza d'onda è stata maggiorata del 10% e risulta quindi pari a $H_s=3.8\text{m}$.

Le prove di stabilità sono state condotte riproducendo attacchi ondosi di durata pari 6000 periodi di picco. Per la sezione 250 (con fondale al piede di 8m), sono riportate le immagini della mantellata prima dell'inizio degli attacchi ondosi 1 e 3 e ogni 133 minuti fino alla fine.

L'analisi di stabilità è stata effettuata seguendo le direttive dei *British Standard*, di cui si riportano le tipologie e la classificazione del danno in figura seguente.

Classification	Description	Damage	Description
0	No discernible movement	Destroyed	Core of breakwater affected
R	Units seen to be rocking but not permanently displaced	Serious	Core of breakwater visible
1	Unit displaced by up to $0.5d$	Much	Large gaps in primary layer; 5 % of units displaced
2	Unit displaced by more than $0.5d$ and up to $1.0d$	Moderate	Gaps in primary layer; 3 % of units displaced
3	Unit displaced by more than $1.0d$	Little	2 % of units displaced
<i>Source:</i> Hydraulics Research Ltd. NOTE d is normally the equivalent cube size of the unit, but other characteristic dimensions such as height of armour unit have been used.		Slight	1 % of units displaced
		Hardly	No damage
		<i>Source:</i> Delft Hydraulics Laboratory	

Figura 1 - Descrizione e classificazione dei danni relativi alla stabilità dei massi – British Standard

La mantellata lato porto testata risulta essere leggermente instabile, l'analisi ha mostrato un mobilità di un numero di massi inferiore all'1% e quindi secondo i British Standard tale da poter classificare i danni come "lievi" (slight).

Tabella 1: immagini della mantellata lato porto della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



Prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 1	133 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



266 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	399 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



532 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	665 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



798 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	931 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della **SEZIONE DI PROVA 250**. Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

1064 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1





**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**

Centro di Ricerca Applicata
alla Ingegneria Marina

S.J.S. Engineering s.r.l.

TARANTO

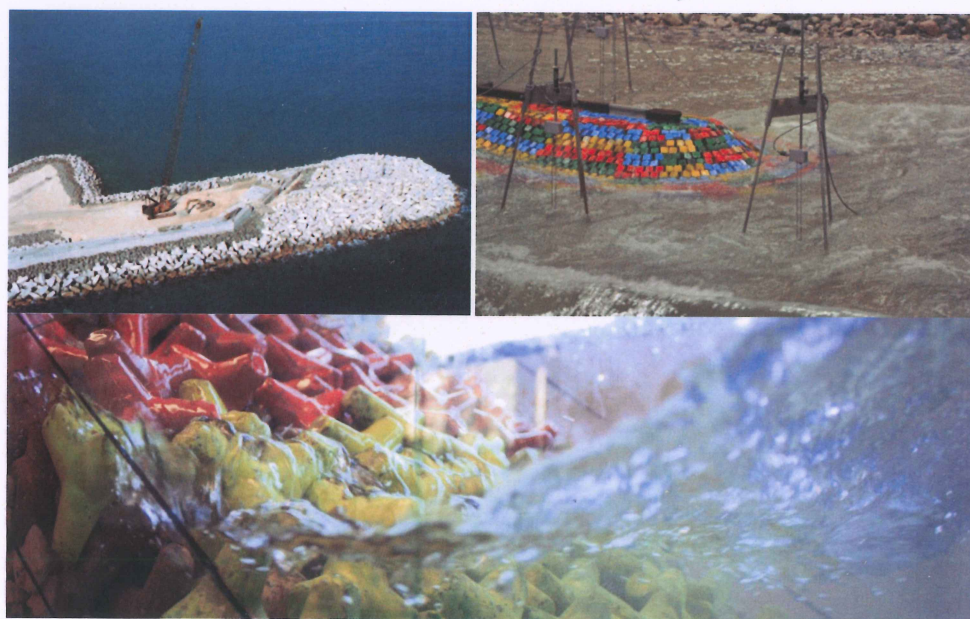
S.S. 106 Molo Polisetoriale, 74123



Prove idrauliche su modelli fisici a supporto della progettazione della nuova diga foranea nel Porto di Taranto

Allegato C

Documentazione fotografica della stabilità degli elementi di mantellata lato porto



Responsabile scientifico
prof. ing. Felice D'Alessandro

Gennaio 2014

Indice delle Tabelle

Tabella 1: immagini della mantellata lato porto della " SEZIONE DI PROVA 250-prima variante ". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 1 e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.....	4
Tabella 2: immagini della mantellata lato porto della " SEZIONE DI PROVA 250-seconda variante ". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 1 e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.....	9

ALLEGATO C

Nel presente ALLEGATO C si riporta la documentazione fotografica inerente alla verifica di stabilità degli elementi della mantellata lato porto per le sezioni "250-prima variante" (quota della cresta 4.70 m sul l.m.m. mantellata lato porto in massi naturali da 3t-7t) e "250 seconda variante" (quota della cresta 4.70 m sul l.m.m. e mantellata lato porto in massi naturali da 7t-10t).

Il moto ondoso di progetto (nel seguito detto MOTO ONDOSO 1), fornito dal Committente, è caratterizzato dai parametri caratteristici d'onda, sui fondali di 10m antistanti l'opera, pari a $H_s=3.42m$ e $T_p=10.7s$; su richiesta del Committente l'altezza d'onda è stata maggiorata del 10% e risulta quindi pari a $H_s=3.8m$.

Le prove di stabilità sono state condotte riproducendo attacchi ondosi di durata pari 3750 periodi di picco (rispetto ai 6000 periodi di picco delle prove sulle sezioni 430 e 250). Di seguito sono riportate le immagini della mantellata prima dell'inizio dell'attacco ondoso 1 e ogni 133 minuti fino alla fine.

L'analisi di stabilità è stata effettuata seguendo le direttive dei *British Standard*, di cui si riportano le tipologie e la classificazione del danno in figura seguente.

Classification	Description	Damage	Description
0	No discernible movement	Destroyed	Core of breakwater affected
R	Units seen to be rocking but not permanently displaced	Serious	Core of breakwater visible
1	Unit displaced by up to $0.5d$	Much	Large gaps in primary layer; 5 % of units displaced
2	Unit displaced by more than $0.5d$ and up to $1.0d$	Moderate	Gaps in primary layer; 3 % of units displaced
3	Unit displaced by more than $1.0d$	Little	2 % of units displaced
<i>Source:</i> Hydraulics Research Ltd. NOTE d is normally the equivalent cube size of the unit, but other characteristic dimensions such as height of armour unit have been used.		Slight	1 % of units displaced
		Hardly	No damage
		<i>Source:</i> Delft Hydraulics Laboratory	

Figura 1 - Descrizione e classificazione dei danni relativi alla stabilità dei massi – British Standard

Dall'analisi visiva delle foto relative alla sezione "250-prima variante" effettuate durante la mareggiata simulata, si evince il movimento di un certo numero di elementi costituenti la mantellata lato porto. In particolare si registra uno spostamento $>1D_{n,50}$ dell'elemento cerchiato in giallo, mentre per l'elemento cerchiato di rosso si evidenzia il solo fenomeno di *rocking*. In definitiva l'analisi di stabilità per la struttura in esame ha mostrato mobilità di un numero di massi inferiore all'1% e quindi secondo i British Standard tale da poter classificare i danni come "lievi" (slight).

Tabella 1: immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-prima variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



Prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 1	133 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-prima variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



266 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	399 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-prima variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



532 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	665 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-prima variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

798 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	931 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
NO FOTO – CAMPIONATORE WO	NO FOTO – CAMPIONATORE WO

Tabella 1 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-prima variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.


1064 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	
	

Tabella 2: immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-seconda variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



Prima dell'inizio del MOTO ONDOSO 1	133 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-seconda variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



266 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	399 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-seconda variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



532 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	665 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-seconda variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.



798 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	931 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1
	

Tabella 2 (continuo): immagini della mantellata lato porto della "**SEZIONE DI PROVA 250-seconda variante**". Le immagini sono state scattate prima dell'inizio del **MOTO ONDOSO 1** e successivamente ogni 133 minuti fino alla fine.

1064 minuti dopo l'inizio del MOTO ONDOSO 1	
	